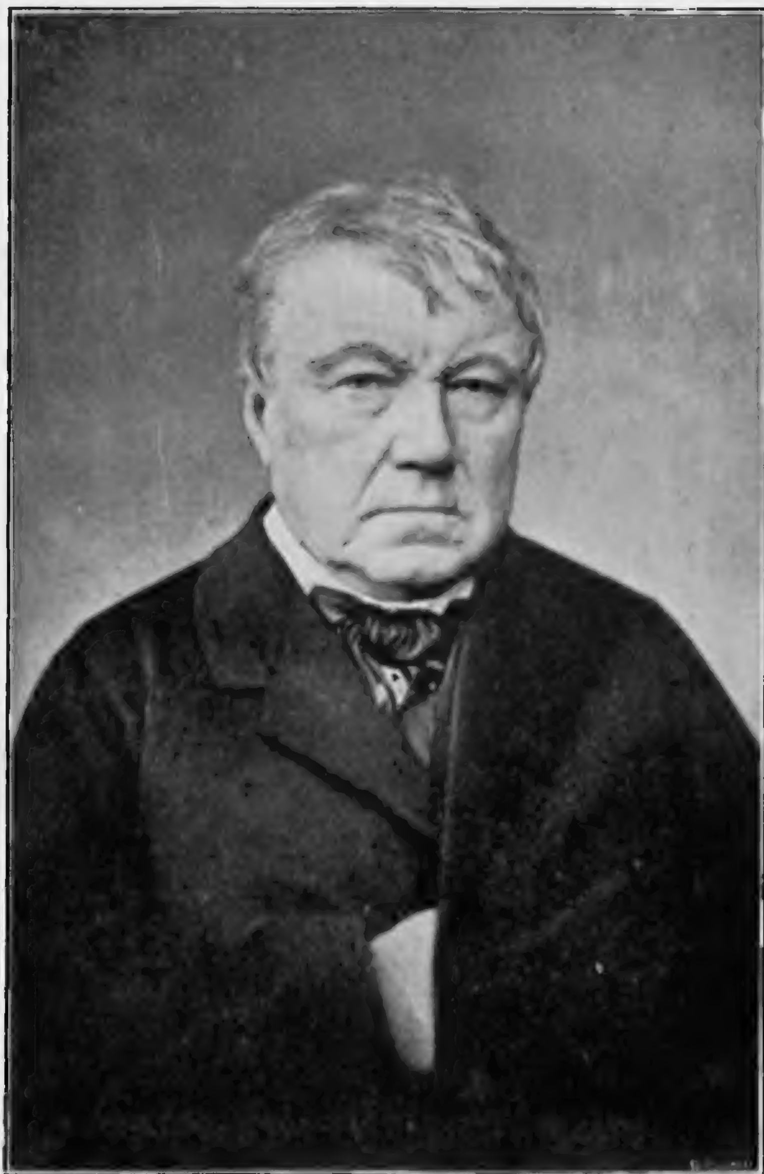


CH. F. SCHÖNBEIN

Erfinder der Schiessbaumwolle

S. J. v. Romocki

Geschichte der Explosivstoffe

II.

Die rauchschwachen Pulver

in

ihrer Entwickelung

bis zur Gegenwart

Mit vielen Abbildungen

Berlin, 1896
Robert Oppenheim (Gustav Schmidt)

Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Inhalt.

Vorwort.

Der erste Teil der „Geschichte der Explosivstoffe" („Geschichte der Sprengstoffchemie, der Sprengtechnik und des Torpedowesens bis zum Beginn der neuesten Zeit, mit einer Einführung von Oberstlieutenant Dr. Max Jähns, Berlin 1895") führte den Leser durch das gesammte Gebiet der explosiven Substanzen bis zum Anbruch derjenigen Zeit, welche der Sprachgebrauch als die „neueste" benennt, und welche auch auf diesem Sondergebiete der Geschichte zunächst durch eine oft allzuweit gehende und den Bedürfnissen voraneilende Abtragung des Alten und überlebt Erscheinenden und dann durch die Schaffung neuer, mit den nötigen Abänderungen noch heute gültigen Grundlagen bezeichnet ist: bis zu der Zeit, in welcher zunächst Stahl und seine Anhänger die auf dem Gebiete der chemischen Wissenschaft länger als auf anderen fortwirkenden aristotelischen Anschauungen endgültig beseitigen, und dann Lavoisier und seine Mitarbeiter zum Gebäude der modernen Chemie die Grundsteine legen.

Gerade eine Beobachtung des Entwickelungsganges der Explosivstoffe zeigt, dass es durchaus verfehlt wäre, etwa in allen Fortschritten der Chemie in vergangenen Zeiten mehr oder weniger Gaben des Zufalls, in allen Errungenschaften der „neuesten" Zeit hingegen Ergebnisse einer klaren Erkenntnis von Ursache und Zweck sehen zu wollen. Vom Wesen des für die Theorie der Explosivstoffe so wichtigen Verbrennungsvorganges z. B. hatten die Forscher früherer Jahrhunderte nicht selten Begriffe, die sich den durch Lavoisier eingeführten sehr näherten, und wussten diese Begriffe auch für die Technik fruchtbar zu machen; andererseits waren es z. B. Analogieen ganz nach Art der so oft von den alten „Alchymisten" in Überschätzung sinnfälliger Eigenschaften der Körper aufgestellten, die Lavoisier zur Annahme von Sauerstoff in allen sauren Substanzen und seinen Schüler Berthollet zur Erfindung und pulvertechnischen

Anwendung des chlorsauren Kali's führten, und vergebliche experimentelle Nachforschungen nach einem in weit über die Grenzen der chemischen Wissenschaft hinausgreifenden Spekulationen als existierend angenommenen, lebhaft an manche hypothetischen Stoffe der Adepten erinnernden Stoff, bei denen Schönbein die Schiessbaumwolle, den Stammkörper der heutigen rauchschwachen Pulver, erfand. Dennoch beginnt in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts auch auf dem Gebiete der Explosivstoffe unverkennbar eine neue Periode, die namentlich durch eine bis dahin unerhört rasche Aufeinanderfolge von Fortschritten charakterisiert ist. Die Begründung der Thermochemie, für welche schon Stahl wertvolle Vorarbeiten geliefert, und die endgültige Aufklärung des Verbrennungsvorganges durch Lavoisier, und in weiterer Folge die Robert Mayer und seinen Nachfolgern zu verdankende Feststellung der Äquivalenz der Wärme und mechanischen Arbeit haben natürlich in einem Zweige der Wissenschaft und Technik, in welchem es sich fast immer um die Erzeugung von Wärme durch Verbrennungsvorgänge und die Überführung dieser Wärme in mechanische Arbeit handelt, an die Stelle eines mühsam tastenden Probierens immer mehr ein zielbewusstes, schnell förderndes Forschen gesetzt, und schon durch die mit politischen und sozialen Umwälzungen zusammenhängende Vermehrung der Zahl der Mitarbeiter am wissenschaftlichen und technischen Fortschritt sind auch die mehr zufälligen Entdeckungen und Erfindungen in der neuesten Zeit häufiger geworden, als sie früher je gewesen. Für wissenschaftliche Anregungen sorgt ein durch neue Mittel der Publizität und des Verkehres mächtig belebter Austausch von Meinungen und Ideen, für Anregungen mehr materieller Art die technischen Bedürfnisse des Zeitalters des Dampfes und der Elektricität, und allen Bestrebungen, die das Gebiet der Kriegswissenschaften berühren, kommt auch noch die der neuesten Zeit eigentümliche äusserste Anspannung der Wehrkräfte aller Staaten unmittelbar zu Gute.

Aus allen diesen Gründen ist die nicht viel mehr als ein Jahrhundert umfassende „neueste" Zeit auf dem Gebiete der Explosivstoffe so ergiebig, dass während im ersten Bande der „Geschichte der Explosivstoffe" alle explosiven Substanzen in allen ihren bis zum Beginn der neuesten Zeit versuchten Anwendungsarten eingehend berücksichtigt werden konnten, bei der Fortsetzung des Werkes eine Teilung des Stoffes schon aus äusserlichen Gründen sich aufdrängt. Sie liegt aber auch schon im Stoffe selbst vorgezeichnet. Schon frühere Jahrhunderte hatten zwar — wie in der „Geschichte der Sprengstoffchemie" u. s. w. nachgewiesen — Explosivstoffe, deren heftig wirkende, zerstörende Eigenart sie von dem Gebrauch zu Treibladungen in Schusswaffen ausschloss; diese Explosivstoffe waren aber wegen ihrer hohen Herstellungskosten oder weil die Erfinder sie

geheim hielten, so selten, dass sie auch für andere Zwecke keine ausgedehntere Verwendung finden konnten und der praktische Explosivstoff-Techniker jener Zeiten gewöhnlich nur einen Explosivstoff kannte: das aus Salpeter, Schwefel und Kohle zusammengesetzte Schwarzpulver, mit dem er schoss und sprengte. Anders in der neuesten Zeit. Diese bringt schon in ihren ersten Jahrzehnten explosive Stoffe hervor, die, leicht herstellbar und bald allgemein bekannt, zwar die Schiesstechnik nicht im erhofften Masse bereicherten, aber zu einem dauernden Gut der Sprengtechnik wurden, die sich von nun an zwar natürlich weiter im Zusammenhange mit dem anderen grossen Zweige der Explosivstoff-Technik entwickelt, doch in der Wahl der für sie besonders geeigneten Präparate viel selbstständiger wird. Dieser in der neuesten Zeit deutlich hervortretenden Scheidung der Explosivstoffe in Schiesspräparate, welche man zum Forttreiben von Geschossen aus Rohren benutzt, und in Sprengmittel, die unmittelbar zerstörend zu wirken haben, gemäss wird der binnen einem Jahre erscheinende dritte Teil der „Geschichte der Explosivstoffe" die zweitgenannte, etwas jüngere Gruppe von Explosivstoffen behandeln, während der jetzt vorliegende zweite Teil den Treibmitteln gewidmet ist.

Der vorliegende Band bildet also der Anlage des Gesammtwerkes gemäss eine Fortsetzung des ersten und eine Vorbereitung auf den dritten; zugleich ist er aber auch für sich selbst ein abgeschlossenes Ganzes, das zu seiner Benutzbarkeit der übrigen Teile durchaus nicht bedarf. Er schildert in unabhängiger Darstellung die Entwickelung der Schiesspräparate von den ersten Versuchen, die Fehler des alten Schwarzpulvers zu beseitigen, an bis zu den Errungenschaften der Pulvertechnik unserer Tage, und zwar, wie schon der Titel andeutet, vom Standpunkte der etwa seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts angestrebten Rauchfreiheit der Präparate. Die Rauchfrage ist mit allen wesentlichen Fortschritten der Treibmittel-Technik so eng verknüpft, dass sich von diesem Standpunkte aus eine vollkommenere Kontinuität der chronologisch geordneten Darstellung der einzelnen Pulverklassen erzielen liess, als wenn von anderen Seiten der Pulverfrage ausgegangen worden wäre. Für die chronologische Ordnung waren die (ausnahmslos nach 1750 liegenden) Zeitpunkte massgebend, in welchen für die einzelnen Pulverklassen — meistens nach isoliert gebliebenen oder unsicheren Anfängen in älterer Zeit — eine gesicherte (in allen Fällen bis zur Gegenwart fortlaufende) Entwickelung beginnt. Der den einzelnen Erscheinungen gewidmete Raum richtete sich natürlich stets nach ihrer Wichtigkeit. Es ergab sich also für die neun Kapitel des Buches als chronologischer Grundriss des Inhalts etwa Folgendes:

I. Nachdem Stahl's chemische Lehren den Schwefel im alten Schwarzpulver haben als entbehrlich erscheinen lassen, versucht Le Blond im Jahre 1756 Pulver ganz ohne Schwefel und mit sehr geringem Schwefelgehalt. Sie ergaben schwächeren Rauch und unter günstigen Umständen grössere Kraftäusserung, als das alte Pulver, entsprachen aber den Bedürfnissen der Zeit nicht, und der Schwefelgehalt des nach anderen Richtungen hin langsam fortgebildeten Schwarzpulvers bleibt im Durschnitt der schon im Mittelalter übliche von etwa einem Achtel, bis um 1880 das infolge von Fortschritten auf dem Gebiete des Waffenwesens unabweislich gewordene Bedürfnis nach rauchschwachen, kräftigen und dabei langsam verbrennlichen Treibmitteln schwefelarme Pulver, auf die auch inzwischen bei Pulvern mit höherem Schwefelgehalt eingeführte Vervollkommnungen Anwendung finden, namentlich für schwere Geschütze zu Ehren bringt.

II. Beim Einleiten von Chlor, welches er im Sinne Lavoisier's für eine höhere Oxydationsstufe des in der Salzsäure angenommenen „Murium's" hält, in eine heisse Ätzkalilösung erhält im Jahre 1786 Berthollet chlorsaures Kali, welches er anstatt des alten Salpeters zur Herstellung eines schwefelarmen Pulvers benutzt. Der erste Versuch, Chloratpulver in der bei Salpeterpulvern üblichen Weise fabrikmässig herzustellen, führt zu einer schweren Katastrophe, der ohne einen günstigen Zufall Berthollet und Lavoisier zu Opfern gefallen wären, und bei der Erprobung in Schusswaffen zeigen die „muriatischen" Pulver bald die zerstörenden Eigenschaften, die sie auch in der Folgezeit immer wieder zur Benutzung als rauchschwache Treibmittel ungeeignet erscheinen lassen.

III. Während der französischen Revolution wird versucht, anstatt des alten Kalisalpeters den keine festen Explosionsprodukte ergebenden Ammoniaksalpeter zur Pulverfabrikation zu verwenden: das Ammoniumsalz erweist sich als zu leicht zerfliesslich, und erst Fortschritte einer späteren Zeit verschaffen ihm eine beschränkte Verwendung in rauchschwachen Pulvern.

IV. Die Pikrinsäure war in Vermischung mit verwandten explosiven Stoffen schon in einem durch Nitration rohen Theeröles gewonnenen „Schiesswasser", welches im Mittelalter vorübergehend benutzt wurde, enthalten. Der erste unzweideutige Hinweis auf die Eignung des pikrinsauren Kalis für pulvertechnische Zwecke findet sich in einer Veröffentlichung Welter's vom Jahre 1799; vielleicht kannte sie, wie die verwandten Eigenschaften des chlorsauren Kalis und des Ammoniaksalpeters, auch schon Glauber, doch ist die Mehrzahl der Verdienste dieses grössten Chemikers Deutschlands nach Basilius Valentinus und vor Liebig durch seine eigene Schuld und durch die Undankbarkeit der Zeitgenossen in einen Schleier gehüllt, der nur unbestimmte Umrisse erkennen lässt.

Im Laufe unseres Jahrhunderts dient das pikrinsaure Kali und das zuerst im Jahre 1809 durch Dulong hergestellte pikrinsaure Ammoniak vielfach zur Herstellung von rauchschwachen Schiesspulvern, die noch im Anfang des vergangenen Jahrzehnts konkurrenzfähig erscheinen, später aber durch vervollkommnete Nitrocellulosepulver fast völlig verdrängt werden.

V. Im Jahre 1832 erhält Braconnot durch Auflösung von Stärke, Cellulose u. ä. in konzentrierter Salpetersäure und Zusatz von Wasser leicht entzündliche Ausfällungsprodukte („Xyloidine"), die, später von Uchatius in die Pulvertechnik eingeführt, gegenwärtig der mit ihnen eng verwandten Nitrocellulose einigen Wettbewerb zu bereiten anfangen, jedoch erst seit dem Auftreten der Schiessbaumwolle überhaupt beachtet erscheinen.

VI. Bei Versuchen, deren leitende Idee weit ausserhalb des Gebietes der Chemie wurzelt, erhält Schönbein im Jahre 1845 durch Einwirkung von Salpetersäure (und Schwefelsäure) auf Baumwolle ohne Auflösung der letzteren eine äusserlich ganz der unveränderten Baumwolle ähnelnde, aber stark explosive Substanz, die er namentlich infolge ihrer grossen Kraft und Rauchfreiheit für zum Schiessen besonders geeignet hält und demgemäss „Schiessbaumwolle" nennt. — Trotzdem bald auch andere Arten Pflanzenzellstoffe in gleicher Weise nitriert werden, bleibt doch die Schiessbaumwolle wegen der grösseren Reinheit der Baumwollcellulose noch lange eine so ausschliessliche Repräsentantin der unter den Begriff „Nitrocellulose" fallenden Explosivstoffe, dass für den auch in diesem Buche befolgten technischen Sprachgebrauch die Bezeichnungen „Schiessbaumwolle" und „Nitrocellulose" gleichbedeutend sind. — Der weitere Entwickelungsgang der Nitrocellulose lässt folgende drei Perioden deutlich erkennen:

VII. Bei ihrem Bekanntwerden wird die Schiessbaumwolle mit ungeheuerer, die weitesten Kreise umfassender Begeisterung aufgenommen und unter Vorantritt von Behörden fast aller Kulturstaaten Versuchen unterworfen, die mit grossen Hoffnungen beginnen, aber schon nach wenigen Jahren fast überall zu einem völligen Verzicht auf eine Verwendung der Nitrocellulose zu Heereszwecken führen. Am beharrlichsten setzt Österreich die Versuche fort und stellt wiederholt sogar ganze „Schiesswollbatterien" nach v. Lenk'schen Vorschlägen auf; noch in der ersten Hälfte der sechziger Jahre zeigt sich aber selbst die in Österreich sehr verbesserte Schiessbaumwolle in ihren Einwirkungen auf die Waffen so zerstörend und so zersetzlich, dass man sie als Schiesspräparat und selbst als Sprengmittel „endgültig" abschafft.

VIII. Hauptsächlich auf Anregungen Abel's, der ein vervollkommnetes Verfahren zur Entsäuerung und Haltbarmachung der Schiessbaumwolle anwendet, nimmt England den Schönbein'schen Explosivstoff wieder auf. Die haltbar gemachte Schiesswolle wird bald als starker Sprengstoff in

den meisten Staaten eingeführt, vermag aber auf dem Gebiete der Treibmittel nur insofern festen Fuss zu fassen, als nach Ideen von E. Schultze hergestellte Nitrocellulose-Pulver vielfach zu Jagdzwecken in Gebrauch kommen. Die durch allzuschnelle Verbrennlichkeit verursachte heftige Einwirkung der Nitrocellulose auf die Schusswaffen in einem für Kriegszwecke genügenden Masse herabzusetzen, gelingt auch in dieser Periode noch nicht; die um 1880 bei in England hergestellten Schultze-Pulvern üblich werdende Gelatinierung, d. h. Zerstörung der lockeren Faserform des nitrierten Pflanzenzellstoffes durch Lösungsmittel, zeigt aber den Weg, auf welchem weitere Erfolge zu erzielen sind.

IX. Durch Gelatinierung von Nitrocellulose und mechanische Verdichtung der gelatinierten Masse stellt Vieille ein rauchschwaches Pulver her, welches im Jahre 1886 in Frankreich mit dem kleinkalibrigen Repetiergewehr zur Einführung gelangt. Unter Beibehaltung des Gelatinierens und Verdichtens werden bald auch viele andere rauchschwache Nitrocellulosepulver hergestellt, welche nur das Gebiet der schwersten Geschütze noch nicht vollständig erobert haben und mit geringen Abänderungen noch lange den Bedürfnissen der Waffentechnik genügen dürften. — Worin die Abänderungen etwa bestehen können, wird am Schlusse des Buches einer kurzen Erwägung unterworfen.

Die Verbreitung, welche der erste Teil der „Geschichte der Explosivstoffe“ bereits gefunden hat, lässt erkennen, dass auch ausserhalb der eigentlichen Fachkreise für seinen Inhalt Interesse vorhanden war. Da die im jetzt vorliegenden Bande behandelten Gegenstände nicht mehr einer fernen Vergangenheit angehören, und da ausserdem die Anteilnahme am Schiesswesen schon durch die allgemeine Wehrpflicht, den Jagd- und Schiesssport in viel weitere Kreise getragen wird, als etwa diejenige an Torpedos und Seeminen, hat der Verfasser jetzt auf noch mehr Leser aus weiteren Kreisen der Gebildeten hoffen zu dürfen geglaubt und demgemäss die Darstellungsweise, welche im ersten Bande angewandt den Beifall der gesammten Kritik gefunden hat, zwar in den Grundzügen beibehalten, jedoch in den Einzelnheiten noch allgemeiner verständlich zu gestalten gesucht. Die dem Leser stets ein eigenes Urteil gestattende Darstellung mit Quellen, nicht nur nach Quellen, wurde durchgeführt, soweit sie sich ohne Anwendung fremder Sprachen — selbst der dem Techniker im allgemeinen geläufigen modernen — durchführen liess. Von allen einschlägigen Wissenschaften wurden nur die in das Gebiet der „allgemeinen Bildung“ fallenden Kenntnisse vorausgesetzt; auf alle irgend in der Sprechweise des täglichen Lebens zu umschreibenden Fachausdrücke wurde verzichtet; ebenso auch, wo irgend möglich, auf die Darstellung durch mathematische Formeln und Figuren. Elementare Mathematik ist

nur an zwei Stellen angewandt, höhere nur an einer, welche auch überschlagen werden kann, ohne dass das Verständnis des Übrigen dadurch leidet: sie soll nur den Fachmann darauf aufmerksam machen, dass, wie schon Vieille und Sarrau, v. Wuich, Dietl, Holzner u. A. betont haben. wie aber bei der Wichtigkeit des Gegenstandes nicht oft genug betont werden kann, den nach den gegenwärtig noch allgemein üblichen Methoden berechneten Gasdruckszahlen nur eine recht bedingte Zuverlässigkeit beizumessen ist.

Im übrigen dürfte das Buch dem Fachmanne durch manche praktischen Winke und hauptsächlich dadurch nützlich sein, dass es ein vollständiges Bild alles dessen giebt, was bis auf den heutigen Tag auf dem behandelten Gebiete versucht worden ist. Die Kenntnis selbst verfehlter Versuche der Vorzeit kann von sehr fühlbarem Werte sein: die Anmeldungs-Veröffentlichungen der Patentämter geben täglich Beweise davon, wieviel Mühe und Kosten oft an Dinge verschwendet werden, die sich längst aus irgend welchen Gründen als aussichtslos erwiesen haben oder die wenigstens als nicht mehr neu keine gewerblichen Erfindungsprivilegien beanspruchen können.

Der Verfasser.

I.

Salpeterpulver mit verringertem Schwefelgehalt.

Unter den Explosionsprodukten, die sich vor der Laufmündung einer abgefeuerten Schusswaffe geltend machen, pflegen alle drei Aggregatzustände vertreten zu sein. Die in Betracht kommenden Gase jedoch unterscheiden sich für den Gesichtssinn nicht von der atmosphärischen Luft; was dem Schützen das Schussfeld verhüllt und dem Feinde ein willkommenes Signal bietet, ist eine Wolke von festen und flüssigen Stäubchen. Da Grösse, Gewicht, Gestalt und Färbung dieser jedes für sich winzigen Stäubchen wohl als im Durchschnitt gleich betrachtet werden dürfen, so wird die Dichte des Rauches in den ersten Augenblicken der Erscheinung im allgemeinen als nur von der Gewichtsmenge der festen und flüssigen Explosionsprodukte abhängig anzusehen sein. Der Grad, in welchem die Raucherscheinung dem Schützen lästig fällt, hängt aber auch von deren Dauer ab, welche ihrerseits je nach der Zusammensetzung der Explosionsprodukte verschieden ist. Der ausser Gasen, wie Kohlensäure, Kohlenoxyd und Stickstoff, und geringen Spuren praktisch nicht zu vermeidender fester Beimischungen im wesentlichen nur aus Wasserdampf bestehende Rauch der guten modernen Nitrocellulose-Pulver zerstreut sich so schnell, dass bei einem etwaigen Vermeiden der Wasserstoffverbrennung in noch zu erfindenden Pulvern die weitere Rauchverminderung den zu gewärtigenden Verlust an Wärme, also an Kraft, nicht im entferntesten aufwiegen könnte, und dass die genannten neuen Pulversorten zwar im absoluten Sinne nur rauchschwach sind, in den Grenzen des praktisch Erreichbaren und für den Gesammtzweck Vorteilhaften aber auch als rauchlos bezeichnet werden können. Durchweg in weit geringerem Masse, als den zerstäubten Flüssigkeiten, kommt der Vorzug eines schnellen Unsichtbarwerdens den bei gewöhnlicher Temperatur festen Explosionsprodukten der Schiesspräparate zu. Diese sind

bei weitem mannigfaltiger, als die flüssigen (nur Wasser, und bei dem nur in äusserst beschränktem Umfang zum Schiessen verwendeten Knallquecksilber das bei gewöhnlicher Temperatur flüssige Metall); doch ist das Verhalten der meisten von ihnen in dem hier besprochenen Sinne nicht wesentlich verschieden: nur wenn sich in dem verfeuerten Pulver Schwefel befand, gewinnt der Rauch eine sonst nicht zu beobachtende Zähigkeit, die auch unverkennbar mit der Menge des angewandten Schwefels steigt.

Die Gründe dieser Erscheinung dürften wenigstens zum teil in der bekannten Eigenschaft des freien Schwefels, beim Reiben stark elektrisch zu werden, zu suchen sein. Ein durch Reibung elektrisch gemachtes Stück Schwefel zieht die Teilchen eines nur aus Salpeter und Kohle bestehenden Mehlpulvers an und hält sie auch bei Temperaturwechsel fest: einem gleichen Verhalten der im gewöhnlichen Schwarzpulver enthaltenen, zwar nur sehr kleinen, aber unter dem Mikroskop deutlich zu beobachtenden Schwefelteilchen wird meistens die Eigenschaft dieses Körpers zugeschrieben, eine leichte und dauerhafte Körnung des gewöhnlichen Pulvers zu befördern, während ein nur aus Salpeter und Kohle hergestelltes und gekörntes Pulver bald zerstäubt.[1]) Das Vorhandensein freien Schwefels auch in den Verbrennungsprodukten des Schwarzpulvers ist aber durch zuverlässige und mannigfaltige Versuche nachgewiesen. Die erste Tabelle zeigt nach Bunsen und Schischkoff[2]) und v. Károlyi[3]) Explosionsprodukte von Schwarzpulver beim Verbrennen einerseits nur etwa unter dem gewöhnlichen Barometerdruck, andererseits unter dem höchsten Druck, welchen eine Pulverladung im eigenen Raume verbrennend zu erzeugen vermag. Bunsen und Schischkoff verbrannten das vorher analytisch untersuchte Pulver in einem Glasgefäss, indem sie es körnerweise auf den erhitzten Gefässboden fallen liessen und die flüchtigen Produkte durch einen Aspirator ableiteten; v. Károlyi entzündete auf elektrischem Wege Pulverladungen in gusseisernen, cylindrischen Sprenggefässen, die in eine zum Auspumpen der Luft vor der Explosion und zum Ablassen der noch etwa eine halbe Atmosphäre Überdruck zeigenden Explosionsgase mit einem starken Hahn versehene 30pfündige Bombe eingeschraubt wurden, und deren Wandstärke durch vorbereitende Versuche derart bestimmt war, dass sie eben noch durch das ihr Inneres ausfüllende Pulver gesprengt werden konnten.

---

[1]) Vgl. z. B. Bruno Kerl im Artikel „Schiesspulver" des „Encyklopädischen Handbuchs der technischen Chemie" (Bd. V, Kol. 1573 der 3. Aufl.).

[2]) Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie Bd. CII, S. 321 ff.

[3]) Pogg. Ann. Bd. CXVIII, S. 544 ff.

(Alles in Gewichtsprocenten)	Nach Bunsen und Schischkoff	Nach v. Károlyi	
		Österreichisches	
Pulverbestandteile:	Jagdpulver	Gewehrpulver	Geschützpulver
Salpeter	78,99	77,10	73,78
Schwefel	9,84	8,63	12,80
Kohle: Kohlenstoff	7,69	11,78	10,88
Kohle: Wasserstoff	0,41	0,42	0,38
Kohle: Sauerstoff	3,07	1,79	1,82
Kohle: Asche	—	0,28	0,31
Feste Explosionsprodukte:			
Schwefelsaures Kali	42,27	36,17	36,95
Kohlensaures Kali	12,64	20,78	19,40
Unterschwefligsaures Kali	3,27	1,77	2,85
Schwefelkalium	2,13	—	0,11
Sulfocyankalium	0,30	—	—
Salpetersaures Kali	3,72	—	—
Kohle	0,73	2,60	2,57
Schwefel	0,14	1,16	4,69
Anderthalb-kohlensaures Ammoniak	2,86	2,66	2,68
Zusammen	68,06	65,14	69,25
Gasförmige Explosionsprodukte:			
Stickstoff	9,98	10,06	9,77
Kohlensäure	20,12	21,79	17,39
Kohlenoxyd	0,94	1,47	2,64
Wasserstoff	0,02	0,14	0,11
Schwefelwasserstoff	0,18	0,23	0,27
Sauerstoff	0,14	—	—
Grubengas	—	0,49	0,40
Verlust bei der Analyse	—	0,68	0,19
Zusammen	31,38	34,86	30,77

Noble und Abel[1]) verbrannten verschiedene Pulverladungen in dem gleichen, gegen die Explosionen widerstandsfähigen Stahlgefäss, so dass verschiedene Gasspannungen entstehen mussten, die mit dem im Späteren zu beschreibenden Druckmesser von Noble gemessen wurden. Die benutzten Pulversorten waren: 1. „Kieselpulver (Pebble-Powder)“, nach der Grösse und scharfkantigen Gestalt seiner durch Zerschlagen von sehr stark gepressten Pulverkuchen und Sortieren zwischen Sieben von 1,7 und 1,3 cm Maschenweite erhaltenen Körner so genannt; 2. etwas weniger dichtes und grobkörniges Geschützpulver (R. L. G.); 3. Gewehrpulver (F. G.). Die Ergebnisse zeigt folgende Tabelle (ein Druck von 1 Tonne auf den Quadratzoll engl. entspricht 153,4 Atmosphären):

[1]) Berichte der Pariser Akademie der Wissenschaften, 1874, S. 204.

Pulverbestandteile:	Bezeichnung der Pulversorte					
	Pebble-P.		R. L. G.		F. G.	
Salpeter { Salpetersaures Kali	74,67		74,95		73,55	
Salpeter { Schwefelsaures Kali	0,09		0,15		0,36	
Schwefel	10,07		10,27		10,02	
Kohle { Kohlenstoff	12,12		10,86		11,36	
Kohle { Wasserstoff	0,42		0,42		0,49	
Kohle { Sauerstoff	1,45		1,99		2,57	
Kohle { Asche	0,23		0,25		0,17	
Wasser	0,95		1,11		1,48	
Explosionsdruck in Tonnen auf den Quadratzoll	1,4	12,5	1,6	35,6	3,7	18,72
Feste Explosionsprodukte:						
Gesammtmenge in Gewichtsprocenten	56,12	55,17	57,22	57,14	58,17	58,09
Zusammensetzung in Gewichtsprocenten:						
Kohlensaures Kali	55,50	56,15	52,56	65,71	59,39	43,03
Schwefelsaures Kali	15,02	11,93	20,47	8,52	24,22	21,00
Unterschwefligsaures Kali	20,73	6,12	20,37	8,59	5,30	32,07
Schwefelkalium	7,41	19,12	4,02	7,23	5,12	—
Sulfocyankalium	0,09	0,23	Spur	0,36	0,02	0,23
Salpetersaures Kali	0,48	0,20	0,56	0,19	0,08	0,19
Kali	—	—	—	—	—	2,98
Anderthalb-kohlensaures Ammoniak	0,16	0,08	0,06	0,18	0,15	0,03
Schwefel	0,61	6,17	1,25	9,22	5,72	0,47
Kohle	Spur	Spur	0,71	—	Spur	Spur
Gasförmige Explosionsprodukte:						
Gesammtmenge in Gewichtsprocenten	43,88	44,83	42,78	42,86	41,83	41,92
Zusammensetzung in Volumprocenten:						
Kohlensäure	46,66	49,82	48,99	41,79	47,41	52,02
Kohlenoxyd	14,76	13,36	8,98	8,32	12,35	7,91
Stickstoff	32,75	32,19	35,60	34,64	32,35	34,20
Schwefelwasserstoff	3,13	1,96	4,06	2,61	3,76	2,03
Sumpfgas	—	0,58	0,29	0,41	—	0,50
Wasserstoff	2,70	2,08	2,07	2,04	4,13	2,13
Sauerstoff	—	—	—	0,18	—	0,10

In keinem Falle fehlte der freie Schwefel ganz; in einem aber erhielten Noble und Abel mit einem durchaus nicht schwefelreichem Pulver und bei einem Drucke, der in Geschützen oft gemessen ist, fast 10 % der festen Explosionsprodukte an freiem Schwefel: eine Menge, die wohl zweifellos im stande ist, durch elektrische Anziehung auf die andern Rauchteilchen eine zusammenhaltende Wirkung auszuüben.

Die zusammenhaltende Wirkung selbst ist auch an durch unexplosive Verbrennung schwefelhaltiger Stoffe erzeugtem Rauch leicht zu beobachten; in neuester Zeit macht sie sich z. B. auch beim Rauch schwefelhaltiger Steinkohlen, der besonders Torpedobooten zum gefährlichen Verräter

werden kann, für die Kriegskunst unangenehm bemerkbar. Unter besonderen Umständen kann die Erzeugung eines recht dichten und zähen Rauches militärtechnisch sogar vorteilhaft sein: so erzählt z. B. Richelieu in seinen Memoiren, dass die Engländer im Jahre 1627 unter dem Schutze des Rauches von zu diesem Zwecke hergerichteten Brandern auf der Insel Rhé Landungen ausführten, und in neuester Zeit sind ähnliche Verfahren wieder vorgeschlagen worden. Der sich beim Schiessen unvermeidlich und auch bei Windstille oder ungünstigem Winde bildende Pulverrauch aber wurde stets als Übel empfunden, und oft genug wurde sogar die Frage aufgeworfen, ob er namentlich im Feldkriege die Vorteile des Schiesspulvers nicht gänzlich aufhebe. Noch einige Jahre nach den glänzenden Erfolgen der ferraresischen Artillerie bei Ravenna (1512), welche allseits eine wahre Begeisterung für die Verwendung grosser Geschützmassen auch im Felde hervorgerufen, sagt Machiavelli im dritten Abschnitt seines berühmten Buches vom Kriege:

„Durch kein anderes Mittel kann man ein Heer mehr in Verwirrung bringen, als dadurch, dass man es am freien Sehen verhindert: viele starken Armeen sind geschlagen worden, weil sie die Sonne oder den Staub gegen sich hatten; und es giebt nichts, was die Aussicht mehr verhüllte, als der Rauch, welchen die Geschütze von sich geben. Daher glaube ich, dass es verständiger ist, den Feind sich selbst blenden zu lassen, als auf den Gebrauch der eigenen Augen zu verzichten, und dass man Artillerie in der Feldschlacht entweder gar nicht, oder, wenn sie ihres Ansehens halber (rispetto alla riputazione che ha l'artiglieria) durchaus verwendet werden soll, nur an den Flügeln verwenden muss, damit der Rauch wenigstens das Centrum der Schlachtordnung nicht verhüllt."

Auch fehlt es schon früher nicht an Rezepten für Pulver mit auffallend geringem Schwefelgehalt, während Deckrauch-Sätze stets als stark schwefelhaltig erscheinen; doch haben es die Schiesspulver mit erheblich unter die Menge der Kohle herabgesetztem Schwefelgehalt anscheinend lange nicht einmal zu einer systematischen Erprobung gebracht. Der Grund hierfür ist wohl in der vorgefassten Meinung zu suchen, weniger der Schwefel, als die Kohle sei ein für die Kraftentwickelung entbehrlicher Bestandteil des Schiesspulvers. Das Mittelalter hatte im Geiste der aristotelischen Naturanschauung den Lehrsatz aufgestellt, der Gegensatz zwischen dem „kalten" Salpeter und dem „heissen" Schwefel, die nur widerwillig vereint blieben und sich gern gewaltsam von einander trennten, bewirke die Explosion des Schiesspulvers,[1]) und diese Theorie erhielt sich allen Anfechtungen gegenüber, bis sich Stahl's namentlich in seinem

[1]) Vgl. Tl. I dieser „Gesch. d. Explosivst." S. 182.

1731 in Berlin erschienenen Werke „Experimenta et observationes chemicae“ niedergelegte Lehre, dass die Verbrennung ein Freiwerden von „Phlogiston (Feuerstoff)“ sei, allgemeinen Eingang verschaffte. Diese Theorie musste eine Verminderung des Schwefels im Pulver zu Gunsten der Kohle oder selbst seine völlige Beseitigung aussichtsvoll erscheinen lassen; denn nach Stahl war die Kohle viel reicher an Phlogiston, als der Schwefel; und wirklich fanden im Jahre 1756 in Frankreich auf Veranlassung Le Blond's die ersten bekannt gewordenen Versuche mit Pulvern ohne oder mit sehr wenig Schwefel statt.

Guillaume Le Blond (geb. im Februar 1704 in Paris, gest. am 24. Mai 1781 in Versailles) widmete die längste Zeit seines Lebens einer teils unmittelbar (so seit 1736 bei den „pages de la grande écurie du Roi“, einer Art von Kriegsschule für junge Edelleute, seit 1751 auch bei den königlichen Kindern), teils durch seine Schriften ausgeübten Lehrthätigkeit. Die seinen Namen tragenden Lehrbücher der auf den Krieg angewandten mathematischen und Naturwissenschaften enthalten nichts auf unseren Gegenstand Bezügliches; doch hat er nach Angaben seines Neffen („Nécrologe des hommes célèbres de France,“ Bd. XVII; Michaud's „Biographie Universelle“) auch für die „Encyclopédie“ die nicht von ihm gezeichneten Artikel über das Schiesspulver geliefert und giebt darin eine Tabelle über Eprouvetten- und eine Beschreibung von Probiermörser-Versuchen, die mit seinen Pulvern in der Staats-Pulverfabrik in Essonne gemacht wurden. Die zu jener Zeit gebräuchlichste Eprouvette war nach Le Blond die sogenannte Zahnrad-Eprouvette oder Pistolenprobe, welche Abb. 1 zeigt. Von der Zündpfanne einer Pistole führte das Zündloch anstatt in den Lauf in einen aufrechtstehenden, etwa einen Zoll hohen Pulverbehälter a, welchen ein am Zahnrade d befestigter Deckel b, durch die Feder e in dieser Lage erhalten, verschloss. Beim Laden des Pulverbehälters zog man die Feder e vermittelst der Schraube und Mutter g herunter. Aus der Zahl der Zähne, um welche nach dem Abfeuern das Rad d gedreht erschien, schloss man auf die Stärke des versuchten Pulvers im Vergleich zu anderen. Der Wurfmörser, welcher zu Pulverproben in grösserem Massstabe diente, ist in Abb. 2 (S. 8) im Durchschnitt abgebildet. Die Gewichte und

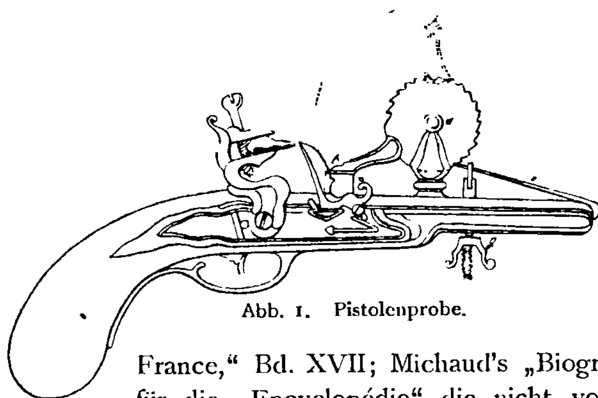


Abb. 1. Pistolenprobe.

Masse, mit denen Pulverladungen und Mörserwurfweiten gemessen wurden, waren: 1 Toise = 6 Fuss, die 1,95 m, und 1 Pfund = 16 Unzen = 128 Drachmen, welches 0,4895 kg entspricht.

No.	Pulverbestandteile									Grade an der Probe
	Salpeter			Kohle			Schwefel			
	Pfunde	Unzen	Drachmen	Pfunde	Unzen	Drachmen	Pfunde	Unzen	Drachmen	
	Zuerst versuchte man Salpeter und Kohle allein in verschiedenen Mischungsverhältnissen:									
1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0; Versprühen
2	1	0	0	0	2	0	0	0	0	3
3	1	0	0	0	3	0	0	0	0	5
4	1	0	0	0	3	4	0	0	0	7
5	1	0	0	0	4	0	0	0	0	9
6	1	0	0	0	4	4	0	0	0	8
7	1	0	0	0	5	0	0	0	0	6
	Dann wurden dem Pulver No. 5 verschiedene Mengen Schwefel hinzugesetzt:									
8	1	0	0	0	4	0	0	0	4	11
9	1	0	0	0	4	0	0	1	0	15
10	1	0	0	0	4	0	0	1	4	14
11	1	0	0	0	4	0	0	2	0	12
	Dann verminderte man stufenweise den Kohlengehalt des Pulvers No. 9:									
12	1	0	0	0	3	4	0	1	0	16
13	1	0	0	0	3	0	0	1	0	17
14	1	0	0	0	2	4	0	1	0	14
15	1	0	0	0	2	0	0	1	0	10
	Einige No. 13 nahestehenden Mischungsverhältnisse wurden versucht:									
16	1	0	0	0	3	0	0	1	4	15
17	1	0	0	0	3	0	0	0	4	13
18	1	0	0	0	2	0	0	2	0	13
19	1	0	0	0	2	4	0	1	4	14
	Zum Vergleich versuchte man noch gewöhnliches europäisches (No. 20) und chinesisches (No. 21) Pulver:									
20	1	0	0	0	2	5 1/2	0	2	5 1/2	11
21	1	0	0	0	3	0	0	2	0	14

„Versuche, die am 12. Februar 1756 in der Pulvermühle zu Essonne mit den Pulvern No. 5, 13 und 20 der obigen Tabelle angestellt wurden:

„Die Pulver waren am 10. und 11. des gleichen Monats dort angefertigt und wurden in dem vorgeschriebenen Mörser versucht, welcher 7 Zoll Kaliber hat und dessen 60 Pfund schwere, kupferne Kugel bei einer Ladung von 3 Unzen 50 Toisen weit fliegen muss, damit dass Pulver den Abnahmebedingungen genügt. Die mittleren Schussweiten betrugen:

„Bei drei Unzen Ladung			
gewöhnlichen Pulvers aus dem Magazin zu Essonne, dessen Mischungsverhältniss mit No. 20 übereinstimmte:[1])	76	Toisen	2 Fuss
No. 20	74	„	4 „
No. 13	78	„	4 „
No. 5	79	„	1 „
„Bei zwei Unzen Ladung:			
No. 5	35	„	2 „
No. 20	39	„	1 „
No. 13	41	„	3 „

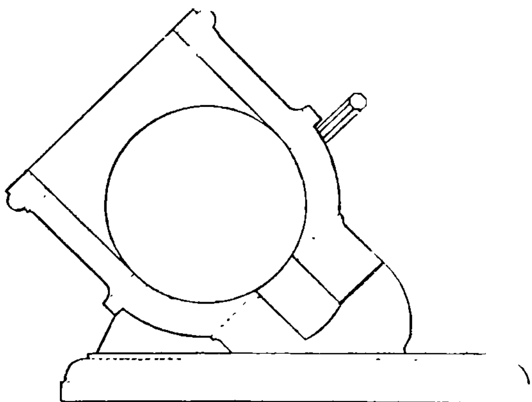


Abb. 2. Probiermörser.

„Es geht aus diesen Versuchen hervor, dass das Pulver No. 13, welches in der Tabelle über die Eprouvetten-Probe als das beste erscheint, stärker ist, als das gegenwärtige französische Schiesspulver, und dass das Pulver ohne Schwefel No. 5 in grösseren Ladungen vor den anderen Pulvern einen Vorsprung gewinnt: bei drei Unzen Ladung hat es die mit ihm verglichenen Pulver übertroffen, während es bei zwei Unzen Ladung[2]) hinter ihnen zurückblieb.

„Es scheint also, dass sich das Pulver No. 13, welches im Grossen und im Kleinen dem gewöhnlichen Pulver überlegen war, zum Gewehrpulver eignen wird, das Pulver ohne Schwefel No. 5 aber für die Geschütze, da es mehr

[1]) Welches aber wohl trockener war. (Anm. d. Verf.)

[2]) Und auch in der nur etwa 5 Gramm Pulver fassenden Pistolen-Probe. (Anm. d. Verf.)

Kraft und weniger Rauch giebt, und da es wegen der Abwesenheit des Schwefels[1]) das Metall der Geschütze an den Zündlöchern weniger angreift, als das gegenwärtige. Es hält sich sehr gut; nach einem Jahre Aufbewahrung hatte es an Kraft sogar gewonnen. Sein Gebrauch für die Artillerie und die Minen würde eine bedeutende Ersparnis bedeuten, da weniger davon verwendet zu werden braucht, um die gleichen Resultate zu erzielen; auch werden die Pulvermacher bemerken, dass für dieses Pulver eine zwei Stunden kürzere Stampfzeit genügt, als für das gewöhnliche."[2])

Besonders überraschend muss für die bei den Versuchen in Essonne Anwesenden die Thatsache gewesen sein, dass das ganz schwefellose Pulver in einem Falle sogar mehr leistete, als die schwefelhaltigen, und von anderen Seiten ist später ihre Richtigkeit oft angezweifelt worden; doch wird sie durchaus begreiflich, wenn man eine Berechnung nach der modernen Thermochemie und den Lehrsatz der mechanischen Wärmetheorie, dass gleiche Mengen Wärme gleiche Mengen Arbeit zu leisten im stande sind, auf sie anwendet. Die Wärmeentwickelung des gewöhnlichen Schwarzpulvers ist durch die sorgfältigsten Versuche auf im Durchschnitt 750 Calorieen[3]) aus dem Kilogramm festgestellt. Mit der von Le Blond angegebenen Salpeter-Kohle-Mischung sind weder unmittelbare Wärmemessungen im Calorimeter, noch chemische Analysen der Verbrennungsprodukte angestellt worden; und während Explosivstoffe, deren Sauerstoffgehalt zur höchstmöglichen Oxydation der verbrennlichen Stoffe in ihnen ausreicht, unter Drücken, wie sie beim Schiessen und Sprengen vorzukommen pflegen, diese höchsten Oxydationsstufen stets auch wirklich ergeben, so dass die Explosionsprodukte und die Wärmeentwickelung bei der Explosion leicht zu berechnen sind, gestatten Explosivstoffe mit einem Fehlbetrag an Sauerstoff eine solche Berechnung nicht, da sie je nach dem Drucke, unter dem sie verbrennen, verschiedene Produkte ergeben.[4]) Nun entspricht das Le Blond'sche Mischungsverhältnis, 88,9 % Salpeter und 11,1 % Kohle, einer vollständigen Verbrennung der Kohle zu Kohlensäure nicht; eine solche würde 87,1 % Salpeter und 12,9 % Kohle (Kohlenstoff) erfordern und 786 Calorieen aus dem Kilogramm ergeben; doch ist der Unterschied nicht so bedeutend, dass nicht auch für das Le Blond'sche schwefellose Pulver immer noch mehr als 750 Calorieen angenommen werden könnten. Die Menge der bei gewöhnlicher Temperatur festen Explosionsprodukte (kohlensaures Kali) würde bei 87,1 %

---

[1]) Welcher sich besonders mit dem Zinn der Bronze leicht verbindet. (Anm. d. Verf.)

[2]) Der Schwefel ist bedeutend schwerer zerreiblich, als der Salpeter und die Kohle. (Anm. d. Verf.)

[3]) Es sind hier und im Folgenden stets „grosse" (Kilogramm-) Calorieen gemeint.

[4]) Vgl. über diesen Gegenstand besonders Berthelot's Werk „Sur la force des matières explosives d'après la Thermochimie", Paris 1883.

Salpeter 71,5 % nach Gewicht betragen, also erheblich mehr als beim gewöhnlichen Pulver (vgl. die beiden ersten Tabellen); doch machte das Fehlen des Schwefels den Rauch gewiss weit weniger lästig. Auch das Pulver No. 13 mit gleichem Salpetergehalt und 2,7 % Schwefel muss einen ungewöhnlich leichten Rauch gezeigt haben; für die Arbeitsberechnung ist seine Verbrennung gleichfalls als annähernd vollständig zu betrachten und muss eher etwas mehr als 750 Calorieen aus dem Kilogramm ergeben haben.

Nach den Eprouvetten- und Probiermörser-Versuchen wurden in Frankreich noch ausgedehnte Erprobungen der von Le Blond vorgeschlagenen Pulvermischungen in Gewehren und Geschützen vorgenommen, doch alles sorgfältig geheim gehalten; Le Blond spricht in seiner 1761 erschienenen „Artillerie raisonnée“ von nichts Ähnlichem. Erst 1761 wurde das oben Wiedergegebene in der „Encyclopédie“ veröffentlicht; jedenfalls weil man in Frankreich keinen Wert mehr darauf legte. Jetzt folgten noch in anderen Staaten vielfache Versuche mit schwefellosen oder schwefelarmen Pulvern, die sich in einigen Ausläufern bis in die ersten Jahrzehnte unseres Jahrhunderts hineinzogen; das Endurteil lautete aber überall gleich ungünstig: die schwefellosen oder schwefelarmen Pulver liessen sich schwer körnen und verlören, namentlich beim Transport, leicht die Körnerform, so dass durch den Fortfall der feuerleitenden Kanäle in den Ladungen die Verbrennung zu langsam werde; setze man zur Festigung der Körner Gummi, Hausenblase o. ä. hinzu, so verlangsame wieder die schwerere Brennbarkeit dieser Klebstoffe und die Verstopfung der Poren in den Pulverkörnern die Explosion; die versuchten Pulver verbrannten aber auch stets etwas zu langsam, und wie sich die einzelnen Teile der Ladungen gegenseitig schwer entzündeten, so vermehre auch ihre schwere Entzündlichkeit auf den Zündpfannen der Feuerwaffen die Zahl der Versager. Zahlenangaben über die wahrscheinlich wenigstens zum teil kriegsmässig ausgeführten Versuche, die zu solchen Resultaten führten, sind leider auch ausserhalb Frankreichs nicht veröffentlicht; doch sind die Ergebnisse ebenfalls nicht ohne Interesse, welche Proust bei seinen Pulverversuchen [1]) erzielte, indem er Mischungen von 60 Teilen Salpeter mit verschiedenen Mengen Kohle und Schwefel gleich fein pulverisierte, bis zur gleichen Dichte in lange Röhren einstampfte und vermittelst einer genauen Uhr die Verbrennungsgeschwindigkeiten beobachtete. Die folgende Tabelle zeigt, wieviel Gramm von den verschiedenen Gemischen auf 1 Quadratcentimeter Brennfläche in der Sekunde abbrannten.

---

[1]) Beschrieben im „Journal de Physique“ von 1810—1814; separat als „Recueil des mémoires relatifs à la poudre à canon“ in Paris 1815.

		Schwefel										
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	24
Kohle	60	0,44	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	30	1,89	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	20	1,68	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	15	1,21	—	1,65	1,83	2,02	2,07	1,82	1,86	1,66	—	—
	12	1,05	—	1,59	1,90	1,95	2,00	2,05	1,80	1,84	1,65	1,38
	10	0,41	0,93	1,35	1,70	1,90	1,95	1,85	1,76	1,57	1,60	—
	$8^1/_7$	0,33	—	—	—	1,40	1,65	1,48	1,51	1,37	1,15	—

Wie leicht zu bemerken, nahm die Verbrennungsgeschwindigkeit bei einer Vermehrung des Kohlenzusatzes bis zu $^1/_2$ der Salpetermenge im allgemeinen zu; sie nahm dagegen stets ab, wenn mehr oder weniger als $^1/_6$ des Salpetergewichts an Schwefel hinzugesetzt wurde.

Es entsteht die Frage, ob man annehmen darf, dass derjenige von zwei Explosivstoffen, welcher an freier Luft langsamer oder schneller verbrennt, als der andere, auch beim Verbrennen in einer Feuerwaffe dasselbe Verhalten zeigt. Die Einwirkungen, welche die zuerst verbrannten Partieen eines Quantums Explosivstoff auf die übrigen ausüben, sind stets zweierlei Art: unmittelbar thermische, indem die flammenden Gase der zuerst verbrannten Explosivstoffteile im eigentlichen Sinne des Wortes anzündend wirken, und mechanisch-thermische,[1]) indem die zuerst entwickelten Gase die noch unverbrannten Teile des Explosivstoffs zusammenpressen und dadurch erhitzen. Ist die Kraft der zuerst entwickelten Gase und die Empfindlichkeit des Explosivstoffs gross genug, so werden unter dem letztgenannten Einfluss auch Teile explodieren, die von der Zündflamme noch längst nicht erreicht sind. Dies ist z. B. stets der Fall, wenn Nitroglycerin in einem Raume, der ein freies Entweichen der Verbrennungsgase nicht gestattet, angezündet wird. Trotzdem also Nitroglycerin, an freier Luft mit einer Flamme angezündet, viel langsamer abbrennt, als gewöhnliches Schiesspulver, wäre es weit verfehlt, anzunehmen, dass es sich auch etwa im Ladungsraum eines Geschützes durch das Zündloch angezündet, ebenso verhält; eine solche Übertragung

[1]) Dass mechanische Einwirkungen nicht unmittelbar, sondern nur durch die erzeugte Wärme Explosionen veranlassen, hat Berthelot (a. a. O. Bd. I Kap. VI) nachgewiesen. Während man früher vielfach auf Grund von Versuchen mit sehr leicht zersetzbaren Explosivstoffen, z.B. mit Jodstickstoff, annahm, heftige Erschütterungen der Stoffteilchen könnten die chemische Reaktion unmittelbar einleiten, zeigten Berthelot's Versuche, dass selbst eine bereits eingeleitete Reaktion nicht beschleunigt wird, wenn man den in der Zersetzung begriffenen Stoff auf einer Stimmgabel oder in einer Glasröhre bis über 7000 mal in der Sekunde vibrieren lässt. Jodstickstoff explodiert allerdings schon bei 100—200 Vibrationen, doch nur, weil die Erschütterung dann bald eine zu seiner Zersetzung genügende Temperaturerhöhung hervorruft.

der Vergleichsergebnisse ist nur bei solchen Explosivstoffen möglich, die durch die in Feuerwaffen auftretenden mechanischen Einflüsse nicht zur Explosion zu bringen sind. Hierüber kann man sich wenigstens für die Verhältnisse bei Gewehrladungen leicht Aufschluss verschaffen, indem man in ein Vorderladungsgewehr oder in die cylindrische Patronenhülse eines Hinterladers zuerst einen Teil der zu untersuchenden Pulverladung, dann einen gasdichten Pfropfen, den zurückbehaltenen und durch Hineinmischen von etwas Zinnober o. ä. kenntlich gemachten Teil der Pulverladung und das um das Gewicht des Pfropfens und des vor ihm liegenden Pulverladungsteils erleichterte Geschoss bringt und das Gewehr über einer glatten Schnee- oder Eisfläche, einem auf dem Boden ausgebreiteten Segel o. ä. abschiesst. Untersucht man Ladungen von Schwarzpulver oder anderen Mischungen von Salpeter mit an sich nicht explosiven Stoffen auf diese Weise, so findet man auf der auffangenden Fläche stets unverbrannte Teile des gefärbten Ladungsbruchteils, trotzdem dieser annähernd denselben mechanischen Einwirkungen ausgesetzt gewesen sein muss, wie wenn er nicht durch den Pfropf von der Treibladung getrennt gewesen wäre (und auch noch vor dem Rohr wohl meistens Teile der hinausgetriebenen Ladungspartie mit den nachströmenden heissen Gasen in Berührung kommen und verbrennen). Beim Schiessen mit übermässigen Ladungen zu langsam verbrennenden Schwarzpulvers aus Geschützen hat man oft das Hinausfliegen unverbrannter Pulverteile beobachtet. Man wird also annehmen dürfen, dass Mischungen von Salpeter mit Kohle oder Schwefel oder mit beiden durch die in Feuerwaffen auftretenden Drücke nicht zur Explosion gebracht werden, dass sich in ihnen die explosive Zersetzung nur durch die mit bei gleicher Porosität der zu durchdringenden Stoffe der Gasspannung proportionaler Geschwindigkeit eindringenden Feuergase fortpflanzt, dass also die von Proust beobachteten Verbrennungsgeschwindigkeitsverhältnisse auch beim Verbrennen derselben Stoffe bei für alle gleich erhöhtem Drucke annähernd wiederzufinden wären. Wohl nur annähernd, selbst wenn Proust statt einer Uhr einen vollkommeneren Zeitmesser hätte benutzen können, da er die während der längern Zeit fortgesetzten Versuche wahrscheinlich eingetretenen Schwankungen des Barometerstandes nicht berücksichtigt hat, und auch diese verhältnismässig so geringen Druckschwankungen auf die Verbrennungsgeschwindigkeit von Explosivstoffen von einem Einfluss sind, der sich bei überhaupt langsamer Verbrennung unschwer beobachten lässt. Paolo de San-Roberto fand bei Versuchen in verschiedenen Höhen der Alpen, dass für Drücke unterhalb des normalen Barometerstandes und Schwarzpulver die Verbrennungsgeschwindigkeit stets annähernd $= A\,p^{\frac{2}{3}}$ ist, wobei A eine Konstante und p den Druck bedeutet.

Das eben Ausgeführte erklärt auch, weshalb die Le Blond'schen Pulver in grösseren Ladungen den Fehler zu langsamer Verbrennung in geringem Masse zeigten, als bei kleineren. Denken wir uns eine entzündete Geschützladung in zwei gleiche Gewichtsteile zerlegt. Sei es nun, dass zuerst die halbe Anzahl aller Körner, oder dass von jedem Korn die halbe Masse fortbrennt, stets wird der zweite Gewichtsteil der Ladung schon im ersten Augenblick seiner Verbrennung unter so hohem Drucke, und damit unter für die Verbrennungsgeschwindigkeit so förderlichen Umständen verbrennen, wie sie der erste, nur bei etwa 1 Atmosphäre Druck zu brennen beginnend, erst nach einiger Zeit erreicht hat; nie braucht also z. B. eine Ladung von 2 kg Pulver, um ihre Kraft zu entwickeln, zweimal so viel Zeit, als eine von 1 kg desselben Pulvers,[1]) und bei den Mörserversuchen Le Blond's brauchte die Ladung von 3 Unzen schwefellosen Pulvers um so weniger $^3/_2$ der für die Ladung von 2 Unzen erforderlichen Zeit zu ihrer Verbrennung, als sie den für 3 Unzen gewöhnlichen Pulvers berechneten Ladungsraum wohl ausfüllte, während bei 2 Unzen Ladung $^1/_3$ des Raumes frei blieb und die anfängliche Spannung der Verbrennungsgase verminderte.

Selbst unter den günstigsten Umständen konnten aber, wie aus der oben gegebenen Wärmeberechnung hervorgeht, die Le Blond'schen Pulver, in gleichem Gewicht, wie das gewöhnliche, angewandt, Geschossen sehr erheblich grössere Kraftmengen nicht mitteilen, und der Vorteil ihrer Rauchschwäche schien in der Zeit der verhältnismässig noch so langsam feuernden Vorderlader ihre schon genannten Nachteile nicht aufzuwiegen. In Frankreich führten sogar Versuche, den Schwefelgehalt im Schiesspulver auf $7^1/_2$, 9 oder wenigstens 10 % herabzumindern, die während der Revolutionszeit angestellt wurden, nur zu einer Rückkehr zum alten Mischungsverhältnis von 6 : 1 : 1; in den meisten anderen Staaten ging man zwar seit etwa 1775 mit dem Schwefelgehalt im Pulver stetig herunter, doch hatten hundert Jahre nach den Versuchen Le Blond's ausser Frankreich auch die Vereinigten Staaten von Nordamerika und einige kleineren Länder für ihr Kriegspulver die von ihm angefochtene alte Zusammensetzung, von der sich die Schweiz mit 75,5 % Salpeter, 13,5 % Kohle und 9 % Schwefel am weitesten entfernte. Erst tief eingreifende Veränderungen der artilleristischen Bedürfnisse führten etwa vom letztgenannten Zeitpunkte an zunächst zu Modifikationen der p h y s i k a l i s c h e n Beschaffenheit der c h e m i s c h von den früheren nicht verschiedenen Pulver im

[1]) Auch der Umstand, dass unter zwei Ladungen gleicher Form, aber ungleicher Grösse, die grössere eine verhältnismässig geringere, der Abkühlung ausgesetzte Oberfläche besitzt, ist gewiss auf die grössere Verbrennungsgeschwindigkeit der grösseren Ladung nicht ohne Einfluss.

Sinne der einst verpönten langsamen Verbrennung und später zu einem Pulver mit 3 % Schwefelgehalt als zur höchsten Fortbildungsstufe der an des „schwarzen Berthold“ Namen geknüpften Erfindung.

Mit der erfolglosen Beschiessung der mit Eisen gepanzerten schwimmenden Batterieen der Franzosen vor Kinburn am 17. Oktober 1855 begann ein Wettkampf zwischen Geschütz und Panzer, der heute unentschieden ist, in welchem aber etwa das erste Jahrzehnt lang das Geschütz meistens im Nachteil war. Damit die verstärkten Deckungen von den Geschossen durchschlagen werden konnten, musste man in den Geschützen Arbeitsmengen entwickeln, die früher nie erforderlich gewesen waren. Explosivstoffe, die aus gleichen Ladungen mehr Arbeit liefern konnten, zeigten, wie im Späteren zu schildern, gerade das Gegenteil von den Eigenschaften, die sie ballistisch empfehlenswert machen konnten, und bei der Anwendung grösserer Ladungen des alten Pulvers war bald aus bereits bekannten Gründen die Erscheinung zu beobachten, dass, bevor das Geschoss Zeit gehabt, seine Trägheit zu überwinden und sich in Bewegung zu setzen, die schnellere Verbrennung des Pulvers im Ladungsraum eine Gasspannung hervorbrachte, der die Festigkeit des Geschützes entweder gar nicht, oder doch nur für eine kurze Reihe von Schüssen gewachsen war. Im nordamerikanischen Secessionskriege wurde in mehreren Fällen durch das Springen der eigenen Geschütze mehr Schaden angerichtet, als der Feind durch die Panzerungen hindurch anzurichten vermochte.

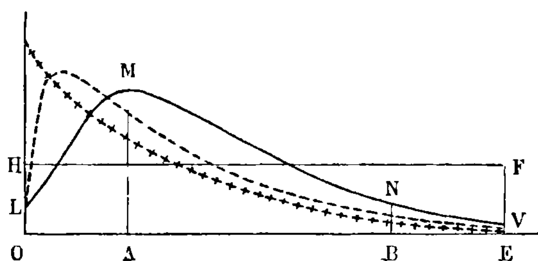


Abb. 3. Graphische Darstellung der Pulverarbeit im Rohre einer Feuerwaffe.

Die lebendige Kraft des Geschosses einer Feuerwaffe ist das Resultat nicht eines Druckes, sondern einer Reihe von Drücken, die vom Geschosslager bis zur Laufmündung auf das Projektil einwirken, und kann bei vielen mässigen Drücken grösser sein, als bei wenigen hohen und vielen niedrigen. Trägt man in das rechtwinklige Koordinatensystem (Abb. 3) die von der Bodenfläche eines Geschosses im Lauf (OE) zurückgelegten Wege als Abscissen (OA, OB), und die auf das Geschoss einwirkenden Drücke (Produkte aus Gasspannung und Geschossbodenfläche) als Ordinaten (OL, AM, BN, EV) ein, so wird die zwischen der Kurve und der Abscissenaxe liegende Fläche (OLMNVE) nach dem Prinzip: „Arbeit = Kraft × Weg“ die Gesammtarbeit des Pulvers im Lauf, und somit die dem Geschoss an der Laufmündung innewohnende lebendige Kraft bedeuten.

Nehmen wir nun an, anstatt der verschieden hohen Drucke hätte ein stets gleicher mittlerer Druck OH gewirkt, und die Fläche (Arbeit) OHFE sei gleich der Fläche (Arbeit) OLMNVE, so wird das Geschoss in beiden Fällen die gleiche lebendige Kraft erhalten; in welchem Falle aber der Lauf der Waffe, auf den natürlich stets dieselbe Gasspannung einwirkt, wie auf den Geschossboden, mehr angestrengt worden ist, braucht wohl nicht erst gesagt zu werden. Die durch HF angedeuteten idealen Druckverhältnisse lassen sich in der Praxis nicht erreichen,[1]) und auch die in LMNV angenommenen sind noch sehr günstig; im allgemeinen begnügt man sich mit solchen, wie sie durch die — — — — Kurve in Abb. 3 dargestellt sind, während die + + + + Kurve den äusserst ungünstigen Fall ausdrückt, dass der Druck das Maximum erreicht hat, während das Geschoss noch nicht aus seiner Ruhelage fortgerückt ist.

Um aus seiner Ruhelage im Geschosslager in den Lauf vorrücken zu können, braucht das Geschoss eines Vorderladers, welches alle zu durchlaufenden Rohrstellen schon einmal (beim Laden) durchlaufen hat, im wesentlichen nur die seinem Gewicht entsprechende Trägheit zu überwinden; ist es aber beim Laden von hinten eingeführt und soll es sich erst beim Schiessen der Form des Laufinneren anpassen, so bedarf es für diese Anpassung (Einschneiden von Oberflächenteilen in die Züge) wieder einer gewissen Zeit.[2]) Da sich nun in der schon geschilderten ersten Periode des Kampfes zwischen Geschütz und Panzer nach der Notwendigkeit, durch die Anwendung von schwereren Langgeschossen bei entsprechend vermehrter Pulverladung die Durchschlagskraft zu erhöhen, bald auch die zweite herausgestellt hatte, durch Übergang zu Hinterladern mit Geschossführung ohne Spielraum im Lauf die Schusspräzision über das mit gezogenen Vorderladern zu erzielende Mass hinaus zu verbessern, um mit Aussicht auf Erfolg auf die schwächsten Stellen des Gegners zielen zu können, so wurde das Bedürfnis nach langsam brennenden Pulvern so stark, dass man sogar vielfach (nach Vorschlägen von Wynants) einen Teil des Salpeters im Pulver durch das seinem Sauerstoff schwerer abgebende, aber auch viel weniger davon enthaltende

[1]) Wären sie erreichbar, so müssten die Läufe, den heute üblichen Formen gegenüber, vorn verstärkt, könnten aber hinten um ein weit grösseres Metallgewicht schwächer gehalten werden, da von der Rohrseele entferntere Metallschichten stets zur Festigkeit gegen den Innendruck weit weniger beitragen, als die inneren.

[2]) Wie bedeutend die Widerstände sind, die sich in gezogenen Hinterladern den Geschossen entgegenstellen, zeigen u. a. in England vorgenommene Versuche, bei denen sich ein Druck von nicht weniger als 1000 kg als erforderlich zeigte, um das Geschoss eines 66 mm-Geschützes durch das Rohr zu pressen („Mittheilungen aus dem Gebiete des Seewesens, herausgegeben vom k. u. k. hydrographischen Amte“, 1894, S. 328).

Bariumnitrat zu ersetzen versuchte, was jedoch zu einer besonders gerade für Waffen mit Pressionsführung des Geschosses unerträglichen und natürlich stets auch den Rauch verdichtenden Vermehrung der festen Explosionsprodukte führte. Endlich gelang es, das alte Pulver durch schon bekannte, aber noch wenig ausgenutzte Modifikationen seiner physikalischen Beschaffenheit: erhöhte Dichte der Pulvermasse und Verminderung der Brennflächen der Ladungen durch Vergrösserung des Kornes, wieder auf die Höhe der Zeitbedürfnisse zu bringen.



Abb. 4. Der Flugzeitenmesser (Chronograph) von Le Boulengé.

Man hatte zwar längst erkannt, dass ein für Handfeuerwaffen und kleineres Geschütz sehr geeignetes Pulver Geschütze von grösserem Kaliber oft durch zu rasche Verbrennung zu stark angreife, und dass sich dieser Übelstand durch Pressen des Pulvers vor dem Körnen und die Wahl eines gröberen Kornes mildern lasse; doch findet sich noch im Anfang unseres Jahrhunderts von den namhaftesten Artilleristen die Ansicht vertreten, dass die technischen, administrativen und dienstlichen Vorteile einer Einheitlichkeit alles von einer Wehrmacht verwendeten Pulvers einer durch die bei der Verwendung spezieller Pulversorten zu erzielenden grösseren Schonung einiger Geschützarten weit voranzustellen seien. So lange fast nur Bronzegeschütze in Gebrauch waren, war auch eine solche Schonung weder für die Sicherheit der Bedienungsmannschaften, noch aus Gründen rein materieller Art besonders dringend notwendig; denn ein Bronzegeschütz springt, wenn es sich nicht schon beim Probeschiessen mit verstärkter Ladung von vornherein als unbrauchbar erweist, im Gebrauch selten, ohne vorher durch Risse die herannahende Katastrophe angezeigt zu haben. und sein Metall ist mit sehr geringem Verlust wieder zu verwerten. Beide Eigenschaften kommen den an sich festeren und im neuesten Zeitalter der Metallindustrie immer ausschliesslicher in Gebrauch kommenden

Geschützen aus Eisen oder Stahl viel weniger, am wenigsten unter ihnen aber solchen aus Gusseisen zu. Der nordamerikanische Kapitän Rodman glaubte nun, durch am Kern beginnende Abkühlung von gusseisernen Geschützen nach dem Gusse ihre Sprödigkeit so weit mildern zu können, dass sie bei der Anwendung vervollkommneter Pulver den teuren Stahlgeschützen an Leistungen gewachsen würden. Diese Hoffnung erfüllte sich nicht; Rodman's Pulverversuche aber wurden für das moderne Schiesspulverwesen von höchster Bedeutung.

Bevor an eine systematische Lösung der Aufgabe gedacht werden konnte, galt es, ein Mittel zur Bestimmung der Gasspannungsverhältnisse

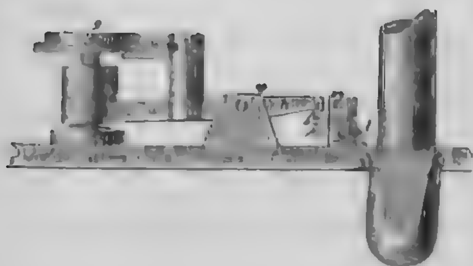


Abb. 5. Drücker zum Flugzeitenmesser (Abb. 4).

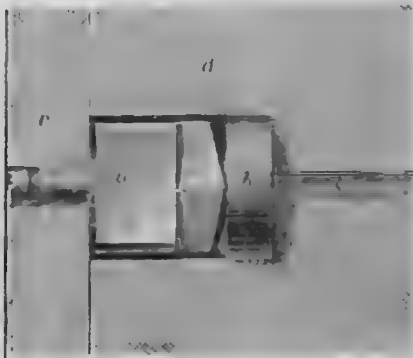


Abb. 6. Rodman's Gasdruckmesser (Schnittapparat).

in den Feuerwaffen zu finden, welches leichter und mit genaueren Resultaten anzuwenden wäre, als die früheren. Früher beobachtete man namentlich die Zunahmen an lebendiger Kraft, welche das Geschoss innerhalb einer Anzahl von möglichst kurzen Strecken der Lauflänge erhielt, und berechnete die mittleren Drücke für diese kurzen Strecken; es ist aber praktisch sehr schwer, die Bewegungen des Geschosses im Laufe zu beobachten, wenn man sich nicht entschliesst, durch stückweises Abschneiden des Laufes die Waffe aufzuopfern; und auch in diesem Falle ist eine hinreichend genaue Messung der Geschossgeschwindigkeits-Abnahmen nur mit Instrumenten möglich, die Rodman um das Jahr 1860 noch nicht zur Verfügung standen.[1]) Er konstruierte einen Apparat, der

[1]) Rodman's „Report of Experiments" erschien 1861 in Boston. Für die Geschwindigkeitsmessungen diente das sogenannte elektro-ballistische Pendel von Navez. Dieser Apparat bestand im wesentlichen aus einem Pendel, welches bei der Unterbrechung eines elektrischen Stromes zu fallen anfing und dabei einen Zeiger mitnahm, der dann bei der Unterbrechung eines zweiten Stromes festgehalten wurde; seine Angaben waren wegen des Vorhandenseins vieler unkontrollierbaren Fehlerquellen wenig genau und verloren jeden Wert, wenn er bei Temperaturen unter 12,5° C. zu funktionieren hatte (vgl. Upmann, Das Schiesspulver, Braun-

bleibende Wirkungen der Gasspannung an beliebigen Stellen eines Laufes zu beobachten gestattete: den auch heute für den gleichen Zweck in erster Linie gebräuchlichen „Kerbmeissel-" oder „Schnittapparat". Abb. 6 (S. 17) zeigt den Rodman'schen Gasdruckmesser in den Verschlusskeil (d) eines Hinterladungsgeschützes, hinter die stählerne Stirnplatte (c) des Geschützverschlusses, eingesetzt; um am Lauf gebraucht zu werden, wird er in einer von aussen in eine Durchbohrung der Laufwand einzuschraubenden Hohlschraube untergebracht. Die Explosionsgase drücken auf die Grundfläche (von bekanntem Flächeninhalt) eines Stempels a, der eine stumpfwinklige Meisselspitze in eine Kupferplatte b treibt. Nach dem Schuss und nach Entfernung der Platte c wird die Kupferplatte vermittelst eines durch den Kanal e eingeführten Stabes hinausgestossen und die Länge ihrer Kerbe mit durch allmählich verstärktem Gewichtsdruck auf den Meissel erzielten verglichen. Die unmittelbare Gleichstellung, welche Rodman für statthaft erachtet hat, und welche auch heute meistens geübt wird, kann natürlich nur dann zuverlässige Resultate ergeben, wenn sich der Meissel auch unter dem Einfluss der Explosionsgase bei minimalem Drucke in Bewegung setzt und sofort nach der Überschreitung des Druckmaximums stehen bleibt, was — wie noch an einer späteren Stelle zu zu zeigen — zwar nicht bei allen zum Schiessen gebrauchten Explosivstoffen und unter allen Umständen ohne weiteres angenommen werden darf, doch bei Schwarzpulverladungen, deren Gase gleich beim Anfang der

---

schweig 1874). Jetzt bedient man sich zum gleichen Zwecke allgemein des sogenannten „Chronographen" von Le Boulengé, den Abb. 4 (S. 16) zeigt. Wird der elekrische Strom des Elekromagneten a unterbrochen, so fängt der Stab b an zu fallen. Dasselbe thut der Stab f, sobald der den zweiten Elekromagneten e umkreisende Strom unterbrochen wird, und trifft den Teller g der Klinke h (Abb. 5 S. 17). Hierdurch wird die bis dahin von der Nase i zurückgehaltene Feder k frei, das an ihr angebrachte Messer l trifft den vorbeifallenden Stab b und schlägt in ihn (etwa bei c) eine Marke, deren Entfernung von einer „Nullmarke" d, die man bei gleichzeitiger Unterbrechung beider Ströme enthält, die zwischen den beiden Stromunterbrechungen verflossene Zeit nach der Fallformel zu berechnen gestattet. Die Stromunterbrechungen durch das Geschoss pflegt man meistens dadurch zu veranlassen, dass aus den Leitungsdrähten und hölzernen Rahmen zwei Gitter gebildet werden, die vom Geschoss ohne Drahtzerreissung nicht passiert werden können. Stellt man z. B. den ersten Rahmen 20 m, den zweiten 80 m vor der Laufmündung auf und beobachtet zwischen beiden die Geschossflugzeit t, so ist für die Mitte der beobachteten Geschosswegstrecke, 50 m vor der Mündung, die Geschwindigkeit mit $\frac{60}{t}$ anzunehmen. Diese Geschwindigkeit (v_{50}) kann dann zur Berechnung der Anfangsgeschwindigkeit an der Mündung (v_a) nach der Formel

$$v_a = \frac{v_{50}}{\sqrt{1 - m \cdot d \cdot v_{50}^2 \cdot 50}},$$

in welcher m den ballistischen Koeffizienten des Luftwiderstandes (ca. 1,2) und d die Luftdichte bedeutet, dienen.

Explosion zum Stempel Zutritt erhalten, stets annähernd zutrifft, so dass die meisten mit solchen Pulvern gesammelten Erfahrungen ihren Wert behalten.

Zunächst führte Rodman den ziffernmässigen Nachweis, dass selbst wenn bei Geschützen von gleicher Konstruktion, doch verschiedenem Kaliber, wie 7-, 9- und 11zölligen, glatten Vorderladern, auf den Quadratzoll Geschossquerschnitt immer dasselbe Gewicht an Pulver und an Geschossmetall kommt und dieselben Geschossgeschwindigkeiten an der Mündung erzielt werden, die grösseren Ladungen als solche und wegen der grösseren Trägheit der Geschosse verhältnismässig schneller verbrennen, als kleinere. Die nachstehende Tabelle zeigt die Mittelwerte aus den bei je 10 Schuss beobachteten Geschossgeschwindigkeiten an der Mündung und Gasdrücken an 7 Stellen der Rohrlänge; ausserdem sind stets auch die höchsten und niedrigsten gemessenen Werte angegeben.[1]) 1 Fuss = $^1/_3$ Yard = 12 Zoll englisch ist gleich 0,30479 m,

[1]) Die Abweichungen sind selbst bei diesen mit grösster Sorgfalt vorgenommenen Versuchen enorm und zeigen, wie wenig angebracht es ist, aus den Ergebnissen ähnlicher Versuche Schlussfolgerungen ziehen zu wollen, die als zuverlässige Grundlage wenigstens bis auf die Zehner oder Hunderter richtige Zahlen erfordern würden. Noble und Abel haben z. B. die alte Streitfrage, ob sich alle Explosionsprodukte des Schwarzpulvers im Augenblick der Explosion im gasförmigen Zustande befinden, oder nicht, dadurch zu lösen versucht, dass sie unter der Voraussetzung, die von ihnen nach der Explosion als fest ermittelten Explosionsprodukte schränkten während der Explosion den Raum für die Gase ein, berechneten, wie dann bei steigender Ladung in demselben Explosionsraume der Druck steigen müsse, und die Resultate der Berechnungen mit Versuchsergebnissen verglichen. Es ergaben sich folgende Zahlen:

Verhältnis der Ladung in Grammen zum Explosionsraum in Kubikcentimetern:	Druck in Atmosphären	
	gemessen	berechnet
0,1	231	235
0,2	513	508
0,3	839	828
0,4	1220	1207
0,5	1684	1666
0,6	2266	2230
0,7	3006	2963
0,8	3912	3869
0,9	5112	5127
1,0	6569	6926

Die Übereinstimmung ist allerdings eine auffallende; doch sind einerseits die Versuchszahlen nicht zuverlässig genug, andererseits sind, wie Berthelot (a. a. O., Bd. I, S. 63) bemerkt, die Berechnungen des Gasdrucks unter der kaum statthaften Annahme erfolgt, dass die schon für ganz niedrige Temperaturen und Drücke nur annähernd richtigen Formeln von Mariotte und Gay-Lussac ohne weiteres auch auf die Verhältnisse bei Explosionen Anwendung finden dürfen, und da alle Explosionsprodukte des Schwarzpulvers schon in der Weissglühhitze des Eisens (ca. 1500° C.) flüchtig werden, so ist es schwer denkbar, dass sie bei der stets mehr als zweimal so hohen Flammentemperatur des Pulvers nicht flüchtig sein sollten. —

1 Pfund 453,59265 g, ein Druck von 14,6 Pfund auf den Quadratzoll entspricht einer Atmosphäre.

Rohrkaliber	Pulverladung	Geschossgewicht	Spielraum	Gattung der nachfolgenden Werte	Geschoss-Anfangsgeschwindigkeit	Gasdruck auf den Quadratzoll in der Entfernung von						
						0	14	28	42	56	70	84
	Pfund	Pfund	Zoll		Fuss	Zoll vom Seelenboden in Pfunden						
7-Zöller (42-Pfünder)	5,13	75,44	0,07	grösster	1031	41 000	19 000	9 000	8 000	8 000	9 000	13 000
				kleinster	815	32 500	14 000	8 000	6 000	6 000	5 750	5 750
				mittlerer	904	36 400	15 850	8 370	6 470	6 850	8 050	6 720
9-Zöller	8,48	124,42	0,07	grösster	952	88 000	29 500	27 500	17 000	35 000	29 000	2 8000
				kleinster	845	38 000	14 500	14 000	14 000	24 000	16 000	1 9500
				mittlerer	888	67 100	21 100	17 750	14 900	29 457	20 970	2 2825
11-Zöller	12,67	186,03	0,11	grösster	1051	100 000	36 000	35 500	29 000	31 500	38 000	31 000
				kleinster	767	56 500	23 000	20 000	18 000	19 000	28 000	16 000
				mittlerer	927	86 750	29 300	27 800	22 420	28 400	33 850	25 050

Dass sich übermässige Drücke schon durch verhältnismässig geringe Vergrösserung der Pulverkörner ohne allzu bedeutende Einbusse an der Geschossgeschwindigkeit sehr ermässigen lassen, zeigten andere Versuche mit dem siebenzölligen Geschütz, bei denen stets dieselbe Gewichtsmenge gleich zusammengesetzten und gleich dichten Pulvers und gleiche Geschosse zur Verwendung kamen, aber der mittlere Durchmesser des die gewöhnliche Form an den Ecken und Kanten abgerundeter Bruchstücke zeigenden Pulverkorns innerhalb der zu jener Zeit üblichen Grenzen gewechselt wurde (die verzeichneten Resultate sind Mittelwerte aus je 5 Schüssen):

Durchmesser der Körner in Zollen	Gewicht der Ladung	Gewicht des Geschosses sammt Spiegel	Geschoss-Geschwindigkeit	Gasdruck in Pfunden auf den Quadratzoll						
				am Boden	14	28	42	56	70	84
	Pfund	Pfund	Fuss		Zoll vom Seelenboden entfernt					
0,10	8	43	1 261	48 200	51 800	13 500	8 900	7 550	7 300	6 700
0,15			1 235	47 200	48 300	15 500	7 900	7 350	7 000	7 000
0,20			1 199	42 300	46 100	12 200	5 500	5 350	4 990	5 700
0,25			1 151	38 500	44 400	12 800	5 000	5 250	4 850	5 500
0,3			1 146	34 400	31 800	13 100	4 810	4 350	4 380	4 900
0,4			1 187	31 900	31 950	13 400	4 060	4 150	4 550	5 150

Bei steigendem Korndurchmesser fiel also der höchste Gasdruck viel schneller, als die Geschossgeschwindigkeit, so dass zu hoffen stand, bei weiterer Kornvergrösserung und Anwendung grösserer Ladungen würde sich den zur Zeit bekannten Pulverarten gegenüber an Geschossgeschwindigkeit und Mässigkeit des Gasdrucks gewinnen lassen. Rodman beschloss aber, ausser der Vergrösserung der Pulverkörner auch eine stärkere Verdichtung der Pulvermasse durch Pressen der einzelnen Körner zu Hülfe zu nehmen. Einen Anstoss dazu boten wohl auch Beobachtungen, die man zu gleicher Zeit an gepressten Patronen für Handfeuerwaffen gemacht hatte. Der enorme Patronenverbrauch bei den grossen und ungeschulten Heeren, mit denen der nordamerikanische Secessionskrieg begonnen wurde, liess Abkürzungen in der Herstellung von Gewehrmunition dringend wünschenswert erscheinen, und man hoffte solche insbesondere dadurch zu erzielen, dass man Patronen ohne Hülsen, mit an das hinten etwas ausgehöhlte (Minié-) Geschoss angepasstem Pulverkörper herstellte. Zunächst benetzte man das zu pressende Pulver mit Klebstoffen, wie Gummi, Syrup oder Kollodium, dann griff man auf ein älteres Verfahren, das Pulver bis zum Weichwerden des Schwefels (100° C.) anzuwärmen, zurück, und endlich wiesen Doremus und Budd in New-York nach, dass sich das Pulver durch einfaches Pressen unter genügendem Drucke zu festen Blöcken komprimieren lasse. Presste man nun so stark, dass die Kanäle zwischen den Körnern ganz verschwanden, so verbrannte das Pulver, auch wenn an sich sehr poröse, leichte Pulversorten gewählt wurden, namentlich für das Minié-Gewehr, dessen Geschoss durch die Pulvergase behufs Anschluss an die Züge expandiert werden sollte, bevor es sich in Bewegung setzte, zu langsam; bei einer Pressung, welche die Kanäle zwischen den Körnern, wenn auch stark verengert, bestehen liess, war zwar die Verbrennungsgeschwindigkeit günstiger, man machte aber die seitdem noch oft mit ähnlichen Pulversorten gemachte Erfahrung, dass die nicht bis zum Verschwinden aller Zwischenräume fortgeführte Verdichtung der Pulverkörper unregelmässig ausfiel, dass sich an Stellen, wo zufällig viele annähernd ebene Flächen der Pulverkörner aneinander zu liegen gekommen waren, Klumpen bildeten, die beim Schiessen unverbrannt ausgeworfen wurden. Man gab also die gepresste Handfeuerwaffen-Munition schnell wieder auf; für Rodman's Zwecke erwies sich aber das in Formen gepresste Schiesspulver als sehr geeignet. Die Pressung aus bereits gekörntem Pulver wurde beibehalten, da sich solches Pulver gleichmässiger für die einzelnen gepressten Körper abmessen lässt, als das lockere Mehlpulver, die Pressung aber bis zur völligen Schliessung der Zwischenräume durchgeführt. Der Enddruck, dem das Pulver in der Presse ausgesetzt war, sollte stets etwas mehr betragen, als der in der Waffe zu erwartende

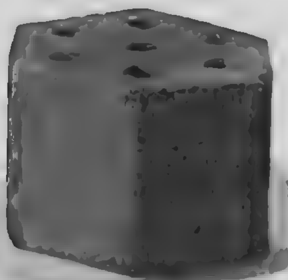
Druck, damit es auch diesen unzerquetscht aushielt. Für das elfzöllige Geschütz machte Rodman die sechsseitig-prismatischen Pulverkörper so gross, dass 28, in 4 Lagen zu 7 liegend, nebst 3—5 Pfund Kornpulver, die an der Zündstelle hinzugefügt wurden, da sich das prismatische Pulver als sehr schwer entzündlich erwies, die Ladung ausmachten; jedes der Prismen wurde aber, damit die Brennfläche nicht überhaupt zu klein würde und während des Verbrennungsvorgangs und des Vorrückens des Geschosses wachse, vermittelst durch den Pressstempel hindurch gehender Nadeln mit 61 der Länge nach hindurchgehenden Kanälen versehen. Die bei Verwendung dieses Pulvers im Vergleich zu dem grobkörnigsten der früher versuchten am Boden eines fünfzehnzölligen Geschützes gemessenen Gasdrücke waren:

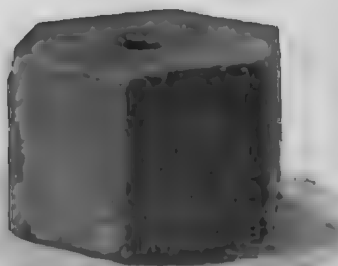
Zahl der Schüsse	Gattung des Pulvers	Gewicht der Ladung	Gewicht des Geschosses sammt Spiegel	Gasdruck auf den Quadratzoll
		Pfund		
5	0,6 Zoll Korndurchmesser .	25	330	8 940
5	0,6 „ „	30	311	10 020
3	0,6 „ „	35	330	13 133
3	0,6 „ „	40	311	18 833
5	Durchlochte Kuchen . . .	40	330	3 280
3	„ „	50	325	8 000

50 Pfund des prismatischen Pulvers hatten also bei annähernd gleichem Geschossgewicht einen bei weitem niedrigeren höchsten Gasdruck hervorgebracht, als 40 und weniger des verglichenen Pulvers. Dass trotzdem die ballistische Wirkung nicht geringer war, zeigten folgende Versuchsergebnisse:

Gattung des Pulvers	Zahl der Schüsse für jedes Resultat	Gewicht der Ladung (Pfund)	Gewicht des Geschosses sammt Spiegel (Pfund)	Elevation	Grösster Gasdruck auf 1 Quadratzoll in Pfunden	Schussweite in Yards	Flugzeit in Secunden
Durchlochte Kuchen . .	3	50	345	28° 35′	8 000	5 208	26,43
0,6 zöllige Körner . . .	3	40	330	28° 35′	18 833	5 088	26,37
0,6 „ „ . . .	3	35	328	6° 00′	13 133	1 976	6,93
0,6 „ „ . . .	1	35	330	28° 35′		5 070	27,25

Die Rodman'schen Versuche veranlassten mit der Zeit alle Staaten zur Annahme sehr grosskörniger, unter starken Drücken gepresster Geschützpulver. Für die gröbsten Geschützkaliber wurde meistens die prismatische Körnerform beibehalten; nur zeigte es sich, dass die eingepressten Kanäle die theoretisch zu erwartende Wirkung praktisch darum weniger haben, weil gerade von den sehr grossen und vielfach durchlochten Körnern stets eine nicht unbedeutende Anzahl durch die Explosion der ersten Teile der Ladung zerbrochen wird und in unregelmässigen Bruchstücken verbrennt. Preussen nahm im Jahre 1868 ein prismatisches


Abb. 7. Prismatisches Pulver C/68.


Abb. 8. Prismatisches Pulver C 75.

Pulver an, von dem Abb. 7 ein Korn in natürlicher Grösse zeigt: der bis zum specifischen Gewicht von 1,62—1,66 gepresste, 25 mm hohe und über Eck 40 mm im Durchmesser haltende Pulverkörper wurde von 7 (behufs leichten Ausziehens der Nadeln) schwach konischen, im Mittel 4,5 mm weiten Kanälen durchzogen. Im Jahre 1875 wurde dieses Pulver durch ein ähnliches ersetzt, welches bei sonst gleicher Form und Grösse der Körner nur je einen im Mittel 10 mm weiten Kanal im Korn (Abb. 8) und ein specifisches Gewicht von 1,75 hatte. Von allen ähnlichen Pulvern zeichnete sich das annähernd rundkörnige englische Pellet-Pulver (Abb. 9) dadurch aus, dass es in die Kartuschen einfach eingeschüttet werden konnte; doch fiel die Pressung des Pulvers unter der Mitte des ausgehöhlten Stempelkopfes stets weniger dicht aus, als unter dem Rande, so dass man nach verschiedenen anderen Versuchen im Jahre 1885 auch in England zum prismatischen Pulver überging.


Abb. 9. Englisches Pellet-Pulver.

Bei 2,00 specifischem Gewicht wird das Pulver ebenso druckfest, wie der Stahl der Stempel; bis etwas über 1,85 lässt sich die Pressung fabrikmässig fortführen, und ein solches Pulver ist, auch wenn es nur äusserst

wenig Schwefel enthält, fester, als es die schwefelhaltigsten alten, nur durch Stampfen, Bearbeiten in einer Kollermühle oder Pressen bei selten über 100 Atmosphären Druck verdichteten alten Pulver waren. Doch behielt man auch für die prismatischen und die verwandten Pulver zunächst die alten Mischungsverhältnisse im ganzen bei, und erst vor etwa zwölf Jahren wurde — anscheinend auf dem Umwege über die Herstellung eines Sicherheits-Sprengpulvers — ein nur 3 % Schwefel enthaltendes, rauchschwaches prismatisches Pulver erfunden.

Schwarzpulver mit erheblich unter $^1/_6$ des Salpeters Schwefelgehalt verbrennen, wenn die Verbrennungsgase auch nur einen verhältnismässig engen Ausweg in die freie Luft finden, so langsam, dass ihre Verbrennung keine sprengenden Wirkungen hervorruft und daher wenig gefährlich ist. Dies sollte auch der Hauptvorzug eines von G. A. Neumeyer in Taucha erfundenen, nach dem englischen Patent aus 75 % Salpeter, $18^3/_4$ % Kohle und $6^1/_4$ % Schwefel bestehenden Pulvers sein, welches um die Mitte der sechziger Jahre viel Aufsehen erregte. Der Herzoglich Sächsische Berginspektor Wohlfarth in Altenburg gab eine Broschüre über dieses Pulver heraus, der Dingler's Polytechnisches Journal von 1866, S. 248—251 und 345, folgendes Wesentliche entnimmt:

„Herr G. A. Neumeyer von Taucha bei Leipzig hat ein Pulver erfunden, welches der höchsten Beachtung von Seiten der Techniker würdig ist, da es die Aufgabe, alle sonstigen Eigenschaften eines guten Pulvers zu besitzen, beim Aufbewahren und beim Transport aber nicht zu explodieren, auf die bisher vollkommenste Weise löst. Es sind mit diesem Pulver gründliche Schiessversuche in der kaiserlichen Pulverfabrik zu Bouchet bei Paris ausgeführt; in dem Königl. Steinsalzbergwerk zu Stassfurt hat Herr Berginspektor Pinno mit solchem Sprengpulver in grosser Masse experimentiert, ich selbst habe seit einem Jahre mich mit der Prüfung des Pulvers nach allen Richtungen hin beschäftigt; ich habe Sprengungen in härterem und milderem Gestein beigewohnt und Schiessversuche mit dem ballistischen Pendel gemeinschaftlich mit einem sehr erfahrenen Offizier vorgenommen; es sind endlich in Gegenwart amtlicher Kommissionen und vor einem grossen Publikum Experimente angestellt, durch welche die Unschädlichkeit des Pulvers beim Aufbewahren und beim Transport dargethan ist — und über alle diese Versuche liegen amtliche und private Zeugnisse vor, die einstimmig den eingangs aufgestellten Satz bestätigen. — Im speziellen lassen die stattgefundenen Untersuchungen Folgendes erkennen:

„1. Das Pulver verbrennt, aber explodiert nicht bei Zutritt der Luft. Am 16. November 1865 wurden in Gegenwart des Stadtrathes zu Altenburg folgende Versuche angestellt: a) eine thönerne Röhre (Drainröhre), 0,283 m lang und mit 0,118 lichtem Durchmesser, wurde auf einen Ziegelstein gestellt, mit diesem bis zu $^2/_3$ ihrer Höhe in die Erde eingegraben, mit 2 kg Pulver angefüllt, und dasselbe dann entzündet. Das Pulver brannte mit hoher Flamme,

aber ruhig aus der Röhre heraus; die Thonröhre zeigte sich nach dem Versuche unverletzt. — b) Eine konische Thonröhre 0,401 m hoch, unten 0,118 und oben 0,029 m weit, wurde bis zu $^2/_3$ der Höhe in die Erde eingegraben und mit 0,62 kg Pulver bis an die Mündung angefüllt. Angezündet brannte das Pulver etwas rascher, als bei Versuch a ab. Das Gefäss blieb unverletzt. — c) Eine thönerne Flasche mit weitem Bauche und sehr engen Halse wurde mit 0,75 kg Pulver gefüllt. Dasselbe brannte sehr rasch und mit hoher Flamme heraus; der obere Teil des Gefässes sprang ab (eine Folge der hohen Hitze) und lag neben dem unteren Teile. Als Gegenbeweis wurde ein ähnlich geformtes, aber kleineres Gefäss mit 0,25 kg gewöhnlichen Pulvers gefüllt, welches mit starkem Knall explodierte; das Gefäss flog in vielen Trümmern weit umher. — d) Ein höchst instruktiver Versuch wurde mit einem eisernen Flintenlauf von 0,613 m Länge und 0,02 m Durchmesser angestellt. Der Lauf wurde bis an die Mündung mit Pulver gefüllt und dieses durch das Zündloch[1]) angezündet. Das Pulver brannte in einen bogenförmigen Strahle aus dem Zündloche heraus, und nur die letzten Reste flogen mit einer schwachen Feuergarbe aus der Mündung heraus.

„Am 27. November 1865 wurde in Gegenwart des Herrn Hauptmann Hess und Apotheker Dörfel von Altenburg und der meinigen in einem Steinbruche bei Taucha folgendes Experiment angestellt: Es war ein massives Häuschen von 0,142 m Wandstärke, 1,132 m Länge, 0,749 m Tiefe und 0,749 m Höhe gebaut; dasselbe hatte vorn eine 0,283 m im Quadrat grosse Thüröffnung, an jedem Giebel eine Fensteröffnung von 0,094 m im Quadrat, mit Brettchen leicht verschlossen; das Dach war mit Ziegeln abgedeckt. Durch die mit einem Eisenblech zugesetzte Thüröffnung wurde ein Holzkasten mit 15 kg Pulver eingesetzt und letzteres mittelst Zündschnur entzündet. Es verbrannte, ohne irgend einen Eindruck auf das Häuschen zu äussern, ja selbst der Holzkasten blieb zusammengefügt und war nur angekohlt. — Um den Gegensatz der sonstigen Pulverwirkung zu zeigen, sprengte man mit 0,50 kg gewöhnlichen Pulvers, auch frei in das Häuschen gesetzt, dasselbe bis auf den letzten Stein auseinander.

„Dieser Versuch wurde später vor einem grösseren Publikum zu Altenburg ganz mit demselben Erfolg wiederholt, und es wird hierdurch der augenscheinliche Beweis geliefert, dass das Neumeyer'sche Pulver bei der Aufbewahrung und dem Transporte jede Gefahr des Explodierens ausschliesst.

„2. Es kann durch Druck oder Stoss nicht zur Entzündung gebracht werden. Diese Eigenschaft, welche es mit dem gewöhnlichen Pulver gemein hat (wenigstens kann das Pulver nur durch ausserordentlich starke Schläge und aussergewöhnliche Umstände, so wenn Eisen auf Eisen, Eisen auf Messing geschlagen wird, entzündet werden), folgt schon aus der dem letzteren ähnlichen Zusammensetzung und ist durch Versuche erwiesen, welche Herr Professor Erdmann in Leipzig anstellte; dabei wurde gleichzeitig die Entzündungstemperatur ermittelt: sie schwankte bei Schiesspulver zwischen 260 und 300^0 C.,

[1]) Wohl nach Entfernung des Pistons. (Anm. d. Verf.)

bei Sprengpulver war sie noch etwas grösser,[1]) während gewöhnliches Schiesspulver bei 300° sich entzündet (Wagner, Chemische Technologie).

„3. Es explodiert im verschlossenen Raum mit derselben, ja mit höherer Wirkung, als das gewöhnliche Pulver. Zahlreiche und sorgfältige Untersuchungen bestätigen diese Eigenschaft. In einem Steinbruche auf Syenit bei Taucha, einem bekanntlich sehr festen und zähen Gestein, sind in meiner Gegenwart Sprengversuche angestellt, wobei der am besten messbare Schuss folgende Resulte ergab: An einer Stelle war eine lange Bahn des Gesteins mit fast senkrechter Wand vorhanden. Ein Bohrloch, parallel der Wand laufend, wurde in 0,566 m Entfernung, hinter demselben angesetzt (also eine Stärke von 0,566 m vorgegeben), so dass der abzusprengende, als Parallelopiped zu betrachtende Gesteinskörper bloss auf zwei Seiten frei war. Das Loch, 0,595 m tief und 0,029 m weit, wurde mit 200 g Pulver geladen und dann mit trockenen Lehmstücken besetzt. Die Zündung geschah mit etwas in das Pulver versenkter Bickford'scher Zündschnur. Es wurde damit ein Gesteinskörper von — im Minimum — 0,566 m Breite, 2,547 m Länge und 1,273 m Tiefe teils absolut losgesprengt, teils so gelockert, dass der Rest mit leichter Mühe losgetrennt werden konnte. Der Schuss lieferte also eine Masse von 1,835 kbm oder 7700 kg Gestein. Ähnliche Resultate stellten sich bei anderen weniger genau messbaren Schüssen heraus.

„Im Oktober 1865 probierte Herr Berginspektor Pinno auf dem Königl. Steinsalzbergwerk zu Stassfurt das Neumeyer'sche Sprengpulver und berichtete darüber im ‚Berggeist' No. 90 von 1865, dass dieses Pulver in Bohrlöchern von 0,749 bis 1,132 m Tiefe im Steinsalz dem Volumen nach in der gleichen Menge, als das gewöhnliche Sprengpulver angewendet zu werden pflegt, eingebracht und, nachdem die Bohrlöcher scharf besetzt waren, mit Bickford'scher Zündschnur abgebrannt wurde. Von überhaupt 58 Schüssen zeigten nur 5 eine ungenügende, die übrigen aber eine so befriedigende Wirkung, dass das qu. Pulver dem gewöhnlichen Sprengpulver unbedingt gleichgestellt werden kann.

„In mehreren Steinbrüchen auf Syenit bei Taucha und auf Porphyr bei Altenburg wird das neue Sprengpulver seit mehr als Jahresfrist ausschliesslich verwendet, und zwar zur grössten Zufriedenheit der Besitzer und Arbeiter.

„Höchst beachtenswert sind ferner die ballistischen Resultate, welche mit dem Neumeyer'schen Schiesspulver erlangt wurden. Ich habe in Gemeinschaft mit Herrn Hauptmann Hess am ballistischen Pendel als Durchschnitt einer Reihe von Schüssen und unter Anwendung eines Zündnadelgewehres die Geschwindigkeit des Projektils

beim gewöhnlichen Pulver auf 458,9 m per Sekunde,
bei Neumeyer'schen Pulver „ 463,7 „ „ „

ermittelt, wobei überdies vom alten Pulver 5,16 g, vom neuen bloss 4,96 g pro

[1]) Neumeyer's Sprengpulver war nicht anders zusammengesetzt, als sein Schiesspulver; es wurde aber wahrscheinlich, wie bei Sprengpulvern gewöhnlich, etwas weniger sorgfältig gemengt. (Anm. d. Verf.)

Schuss angewendet wurden, was entschieden sehr zu gunsten des letzteren spricht.

„Zu Bouchet bei Paris wurde am 3. April c. mit französischen Musketen geschossen; die Geschwindigkeit des Projektils war

bei neuem Pulver . . . 445 m.
bei altem französischen blos 414 m.

„Die Ladung war in beiden Fällen 7 g.

„4. Es hinterlässt weniger Rückstand als das alte Pulver. Verbrennt man eine Probe des Pulvers bei freiem Zutritt der Luft, so bleibt ein auffallender Rückstand in Form dicker, grünlichgrauer Perlen. Im Gewehre dagegen hinterlässt das Pulver einen bemerkenswert geringeren und wegen seiner Trockenheit leichter zu entfernenden Rückstand als das gewöhnliche Pulver. Zu Bouchet betrug das Gewicht des Gewehres

vor dem Schiessen	4430 g
nach dem Schiessen	4431 g
also Rückstand	1 g;

dagegen beim französischen Musketenpulver

vor dem Schiessen	4430 g
nach dem Schiessen	4433 g
also Rückstand	3 g,

d. h. dreimal so viel, als bei Neumeyer's Pulver.[1])

„Ich selbst habe beim Sprengen an den Gesteinswänden in der Umgebung des Schusses stets weniger Rückstand getroffen, als bei gewöhnlichem Pulver, und Herr Pinno hat diesen Rückstand so gefunden, dass er wenigstens an Menge den des alten Pulvers nicht übertrifft.

„5. Es zieht aus der Luft nicht mehr Feuchtigkeit an, als das gewöhnliche Pulver. Man hat genaue Beobachtungen über diese Eigenschaft zu Bouchet angestellt und gefunden, dass nach 10 Tagen

300 g	französisches Pulver			2,7 g	zunahmen
300 „	neues	Pulver	poliert	3,1 „	„
300 „	„	„	„	3,2 „	„
300 „	„	„	unpoliert	2,5 „	„
300 „	„	„	„	2,0 „	„

wobei sich überdies die unerklärliche Thatsache herausstellt, dass das Polieren eher einen schädlichen, als nützlichen Einfluss auf die Absorption auszuüben scheint.[2]) Hierbei darf ich nicht unerwähnt lassen, dass das neue Pulver seine

---

[1]) Die Gesammtmenge der festen Explosionsprodukte kann beim Neumeyer'schen Pulver nicht geringer gewesen sein, als beim gewöhnlichen Schwarzpulver; doch wirft natürlich ein ballistisch kräftiger wirkendes Pulver von diesen Produkten stets mehr aus dem Lauf. Weniger hygroskopisch war der Rückstand wahrscheinlich', weil er weniger Schwefelkalium enthielt. (Anm. d. Verf.)

[2]) Dieses auffällige Versuchsergebnis ist allerdings wohl nur einem zufälligen Feuchterwerden des polierten Pulvers zuzuschreiben. (Anm. d. Verf.)

Explosionseigenschaft nicht verliert, selbst wenn es sehr nass geworden und dann wieder getrocknet ist,[1]) während bekanntlich das alte Pulver seine Explosionskraft verliert, wenn es mehr als 5 Prozent Feuchtigkeit absorbiert hatte und dann wieder getrocknet wurde (Wagner, Chemische Technologie).

„6. Es hinterlässt weniger Pulverrauch; derselbe ist leicht, zieht schnell ab und äussert keine nachteilige Wirkung auf die Gesundheit der Arbeiter,[2]) wie Herr Pinno bei dem grossen Versuche zu Stassfurt gefunden hat; auch wird von den Mansfeld'schen Bergwerken dasselbe berichtet.

„7. Es ist billiger, als gewöhnliches Pulver. Aus dem ad 3 Gesagten geht hervor, dass beim Schiessen 4,96 g so viel und noch etwas grössere Wirkung hatten, wie 5,16 g gewöhnliches Schiesspulver. Da nun die Preise dem Gewicht nach gleich sein werden, wie der Erfinder versichert, so stellt sich das neue Schiesspulver im Verhältnis von 30 zu 31 billiger, als das alte. Noch auffallender ist der Unterschied beim Sprengpulver. Nach den Untersuchungen des Herrn Pinno hatten gleiche Volumina vom neuen und alten Pulver gleiche Wirkungen. Es ermittelte sich aber das Gewicht gleicher Volumina des neuen und des gewöhnlichen Stassfurter Sprengpulvers wie 30 : 37, und in diesem Verhältnis wäre also das neue Sprengpulver billiger. Beispielshalber wird man daher in Stassfurt statt wie bisher 50000 kg altes nur 41900 kg neues Pulver jährlich brauchen, was beim Preise von 12 Thalern pro 50 kg eine Ersparnis von 2000 Thalern ergiebt.

„Wenn ich in Vorstehenden alle günstigen Urteile zusammengestellt habe, welche die Güte der Erfindung aufs Unzweifelhafteste dokumentieren, so will ich nunmehr auch nicht unterlassen, die umgekehrten Beurteilungen zu erwähnen, welche dem Erfinder von verschiedenen Seiten zugegangen sind, denn gerade sie sind imstande, das klarste Licht über die Vortrefflichkeit des Pulvers zu verbreiten.

„Man hat gefunden, dass im stark zerklüfteten Gestein das Sprengpulver eine unbefriedigende Wirkung äussert; ebenso hat man umgekehrt im festen Konglomerat des Rotliegenden bei gleichem Volumen einen geringeren Effekt mit dem neuen Pulver erzielt; man hat ferner bei den ersten Schiessversuchen zu Bouchet die Kugel kaum aus dem Laufe getrieben und erst allmählich die oben erwähnte Geschwindigkeit erreicht, und endlich hat man und wird noch bei Gewehren mit langem engen Zündkanal viele Versager erhalten. Gegenüber solchen Ergebnissen muss an die zwei wichtigen Eigenschaften des Pulvers erinnert werden, dass es um so vollkommener explodiert, je dichter der Luftverschluss ist, und dass es schwer entzündlich ist. Es folgt daraus:

[1]) Wahrscheinlich, weil die in grosser Menge vorhandene Kohle die Feuchtigkeit an sich zieht und ein Aufgelöstwerden und Herauskrystallisieren des Salpeters erschwert. (Anm. d. Verf.)

[2]) In dieser Hinsicht kann sich das Neumeyer'sche Pulver wohl insofern vor dem alten ausgezeichnet haben, als es weniger von dem übelriechenden Schwefelwasserstoff entwickelte; die Entwickelung von giftigem Kohlenoxydgas war unvermeidlich, da der Salpetergehalt zur vollständigen Verbrennung der Kohle zu Kohlensäure nicht hinreichte. (Anm. d. Verf.)

1. Im stark zerklüfteten Gestein wird es keine bessere, vielleicht noch geringere Wirkung als gewöhnliches Pulver zeigen. — 2. Man schoss im festen Konglomerat mit Raketen,[1]) nicht mit Zündschnur; nur letztere ist anwendbar, wenn man nicht einen guten Teil der Wirkung verlieren will, denn die Schnur stellt einen vollkommenen Verschluss des Bohrloches her, was bekanntlich bei der Rakete nicht stattfindet. — 3. Als man die ersten Versuche in Bouchet anstellte, lud man in der gewöhnlichen französischen Manier, d. h. ziemlich lose. Erst allmählich verstärkte man die Pfropfen und setzte den Ladstock kräftiger auf; dann aber erreichte man auch die hohe Geschwindigkeit des Geschosses. — 4. Beim Laden der Flinten und Büchsen mit langem engen Zündkanal rollt das Pulver gewöhnlich nicht bis in das Piston, weil es in unpoliertem Zustande, eckigkörnig, angewendet wird. Dann aber ist das Feuer des Zündhütchens nicht im stande, bis in die Pulverkammer zu dringen und dort das Pulver zu entzünden; daher erklären sich die vielen Versager. Es folgt aber hieraus nicht etwa, dass das Pulver schlecht, sondern nur, dass es für die gewöhnlichen Gewehre nicht geeignet ist. Bei Hinterladungsgewehren hat das Pulver noch niemals versagt, und da letztere sich immer grössere Verbreitung verschaffen, so dürfte obiger scheinbare Vorwurf des neuen Pulvers immer seltener gehört werden."

Trotzdem schon das folgende Jahr 1866 das Verschwinden der Vorderladungsgewehre weit wirksamer beschleunigte, als es der Schreiber des eben Angeführten wohl gehofft, rechtfertigte das Neumeyer'sche Pulver die daran geknüpften Erwartungen nicht: es wurde bald allseits verworfen, da es zum Schiessen wie zum Sprengen zu schwer entzündlich und zu langsam brennend wäre. Der Erfinder selbst änderte das Mischungsverhältnis seines Pulvers dahin, dass 72 % Salpeter, 18 % Kohle und 10 % Schwefel angewandt wurden;[2]) damit hatte freilich das Pulver seine Eigenart verloren.

Einen aussichtsvolleren Weg schlugen die Gebrüder Fehleisen in Graz zur Herstellung eines Sicherheitspulvers ein, indem sie den Schwefel ganz fortliessen, dafür aber, um die Entzündlichkeit nicht zu weit herabgehen zu lassen, eine nur sehr schwach gebrannte, also stark wasserstoffhaltige und leicht entzündliche Kohle anwandten. Baumé, dessen Abhandlung über das Schiesspulver sich gegen Ende des vorigen Jahrhunderts eines bedeutenden Ansehens erfreute, hatte noch nach verschiedenen Versuchen erklären zu dürfen geglaubt, dass es ziemlich gleichgültig sei, was für Kohle man zur Pulverfabrikation verwende; erst Congreve deutete nach 1800 auf die leichtere Entzündlichkeit und wegen des höheren Gehalts

---

[1]) Zündröhrchen. (Anm. d. Verf.)

[2]) Wagner's Jahresberichte über die Leistungen der chemischen Technologie, 1868, Seite 301.

an Wasserstoff, welcher letztere mit Sauerstoff verbunden mehr als viermal so viel Wärme giebt, als der Kohlenstoff, höhere Wärmeentwickelung einer nur bis zur braunroten Färbung gebrannten Kohle hin, und Violette wies nach, dass sich Verkohlungs-Temperatur, Entzündungs-Temperatur und Wasserstoff-Gehalt der Kohle etwa folgendermassen zu einander verhalten:

Verkohlungs-Temperatur	260°—280°	290°—350°	432°	1000°—1500°	Schmelzpunkt des Platins
Entzündungs-Temperatur	340°—360°	360°—370°	ca. 400°	600°—800°	ca. 1250°
Wasserstoff-Gehalt	5,038—4,705 %	4,981—4,136 %	1,961 %	2,2975—0,7395 %	0,6215 %

Die Kohle des Fehleisen'schen Pulvers („Haloxylins") scheint nur äusserst schwach gebrannt gewesen zu sein, da sie in Zeitungsnachrichten mehrfach als „Sägespäne" bezeichnet wird. Carl Černy, k. k. Bergwerks-Praktikant in Pribram, hat das Haloxylin analysiert und schreibt darüber (Dingl. polyt. Journal, 1866, S. 251):

„Das Haloxylin löst sich im Wasser mit Zurücklassung eines schwarzen Rückstandes zu einer bräunlichen Flüssigkeit auf und ist schwefelfrei. Eine qualitative Untersuchung ergab neben einer unvollkommen verkohlten, für sich mit Flamme brennbaren Kohle eine vorwaltende Menge salpetersauren Kalis, dessen wässeriger Auszug eine sehr geringe Menge Cyankalium und Kaliumeisencyanür[1]) nebst etwas braunem Extraktivstoff enthält. Das Verhältnis von Kohle zum Salpeter wurde beiläufig mit 22 : 78 bestimmt. Es nähert sich dieses Verhältnis dem eines Sprengpulvers von der Zusammensetzung 62 Salpeter, 18 Kohle, 20 Schwefel, mit Auslassung des Schwefels. Mit Umrechnung der Kohle auf 78 Salpeter ergiebt sich aus der Proportion:

$$KO, NO^5 : C = KO, NO^5 : C$$
$$62 : 18 = 78 : x$$
$$x = 22 \text{ Kohle.}$$

„Die Anwesenheit des kaum 1 Procent betragenden Cyans ist der Gesundheit durchaus unschädlich, weil Haloxylin wegen des entfallenden Schwefels im Vergleich zum gewöhnlichen Sprengpulver überschüssig viel Sauerstoff enthält, welcher, sowie er keine Spur Kohle unverbrannt zurücklässt, jene noch leichter als Kohle brennbaren Cyanverbindungen desto leichter zu unschädlichen[2]) Gasen

[1]) Nach anderen Angaben enthielt das Haloxylin 1—2 % Kaliumeisencyanür. (Anm. d. Verf.)

[2]) Kohlenoxyd dürfte sich doch stets bilden, da die Salpetermenge für eine vollständige Verbrennung nicht hinreicht. (Anm. d. Verf.)

und Dämpfen vollkommen verbrennen kann. Je feuchter[1]) der Ort, wo der Schuss weggethan wird, desto schneller kondensieren sich die Verbrennungsgase und desto durchsichtiger ist der Rauch.

„Das Haloxylin kann im freien Raume ganz ohne Gefahr einer Explosion angezündet werden; es verbrennt dabei mit rotvioletter Flamme langsam von oben nach unten zu, ähnlich wie eine bengalische Zündmasse unter Entwickelung eines weissgrauen Rauches, und hinterlässt gelblichweisse Kügelchen als Rückstand, welche auf der Zunge einen sehr ätzenden, dem kohlensauren Kali ähnlichen Geschmack haben. Im Bohrloche verbrennt es vollständig, ohne die Bohrlochswände zu schwärzen.

„Die Verbrennungsgase wirkten auf mich säuerlich ein, etwa so, wie sehr schwache Dämpfe von Untersalpetersäure einwirken.

„Im Bohrloch entzündet sich das Haloxylin, sei der Besatz noch so fest aufgesetzt, deutlich langsamer als das gewöhnliche Pulver. — Beim Treffen des richtigen Masses scheint es, dass die schleudernde Wirkung des Haloxylins etwas geringer sei, als die des Sprengpulvers, was mit der langsameren Entzündung des ersteren zusammenhängt.

„Die Nichtentzündbarkeit[2]) des Haloxylins durch den Funken (den Eisen am Stein reisst) und die gefahrlose Anwendung der eisernen Raumnadel sind die Hauptvorteile desselben, zu denen auch der auf den Organismus bis jetzt weniger belästigend einwirkende Rauch zu zählen ist."

Bei Vergleichen mit dem Neumeyer'schen Pulver wurde das Haloxylin meistens als jenem überlegen bezeichnet, doch erwies es sich immer noch als zu schwer brennbar, um mit Vorteil zur bergmännischen Sprengarbeit oder selbst unter den veränderten Verhältnissen im Geschützwesen als Treibmittel Anwendung zu finden. Erst unter Benutzung eines geringen Schwefelzusatzes neben schwachgebrannter Kohle gelang es mehr als ein Jahrzehnt später ein Pulver herzustellen, welches zwischen einer zu grossen und zu geringen Entzündlichkeit die erwünschte Mitte hielt.

Nach Castner[3]) bestellte im Jahre 1882 die Firma Krupp bei den Rottweil-Hamburger Pulverfabriken ein Sprengpulver für Geschossladungen, welches weniger entzündlich sein sollte, als die bis dahin zu gleichem Zwecke gebrauchten, um mehr Sicherheit gegen Entzündung durch die beim Abfeuern des Geschützes im Geschoss entstehende Stauchung zu bieten.

---

[1]) D. h. wohl „kühler". (Anm. d. Verf.)

[2]) Wohl nur „schwere Entzündbarkeit". (Anm. d. Verf.)

[3]) Vorzügliche Abhandlung über „Das Schiesspulver in seinen Beziehungen zur Entwickelung der gezogenen Geschütze" im Jahrgang 1891 des Wochenblattes „Prometheus" (Berlin b. Mückenberger), der auch die Abb. 4—9 und die Abbildung des rauchschwachen Würfelpulvers im Späteren entnommen sind.

Das gelieferte Pulver aus 78 Teilen Salpeter, 19 Teilen einer schwachgebrannten braunen (Stroh-)Kohle, die der Mischung eine schokoladenartige Färbung gab, und 3 Teilen Schwefel bestehend, wurde auf dem Düneberger Schiessplatze der genannten Pulverfabrik auch als Schiesspulver versucht, und ergab so günstige Resultate, dass man sofort zu ausgedehnteren Versuchen schritt. Die „Mittheilungen über Gegenstände des Artillerie- und Genie-Wesens, herausgegeben vom k. k. technischen und administrativen Militär-Comité" von 1882, Heft XII, stellen über vergleichende Versuche, die unter Benutzung des gleichen Geschützes mit dem neuen Pulver C/82 und dem bereits bekannten C/75 erzielt wurden, folgende Zahlen zusammen. — Die Gasdrücke wurden stets gleichzeitig mit einem Rodman- und einem Noble'schen „Stauchapparat" gemessen, welcher letztere sich von dem ersteren nur dadurch unterscheidet, dass der den Gasdruck aufnehmende Stempel, anstatt eine Meisselspitze in eine Kupferplatte zu treiben, einen kleinen Kupfercylinder zusammendrückt (staucht). Die Unterschiede zwischen den Angaben beider Apparate bestätigen beiläufig auch das im Früheren über die stets nur als annähernd aufzufassende Richtigkeit der mit solchen Vorrichtungen erzielten Atmosphärenzahlen Gesagte.

Pulversorte	Ladung	Geschossgewicht	Geschoss-Anfangsgeschwindigkeit	Gasdruck nach dem Rodman-Apparat	Differenz	Gasdruck nach dem Stauchapparat	Differenz	Lebendige Kraft des Geschosses: Total	per Kilogr. Pulver	per Atmosphäre Rodman
	Kilogramm	Kilogramm	Meter	in Atmosphären	in Atmosphären	in Atmosphären	in Atmosphären	Meter-Tonnen	Meter-Tonnen	Meter-Tonnen
C/82	39	140	481	1935	745	1975	850	1648	42,3	0,85
C/75	39		490	2680		2825		1713	43,9	0,64
C/82	40	140	499	2130	700	2150	755	1776	42,3	0,83
C/75	42		497	2830		2905		1761	44,0	0,62
C/82	45	140	519	2365	670	2380	590	1922	42,7	0,81
C/75	40		506	3035		2970		1827	45,7	0,60
C/82	48	96,5	606	2320	715	2255	760	1810	37,7	0,80
C/75	42		607	3035		3015		1814	43,2	0,60

„Diese Zahlen zeigen" — bemerken dazu die ‚Mittheilungen' — „dass:

„1. das neue Düneberger Pulver C/82 bei derselben Geschossgeschwindigkeit rund 700 Atmosphären weniger Gasdruck erzeugt, als das prismatische Pulver C/75;

„2. per Atmosphäre Gasdruck das Pulver C/82 33 % mehr lebendige Kraft ergiebt, als C/75;

„3. mit dem Pulver C/75 für $3^1/_2$ Kaliber lange 21 cm-Granaten von 140 kg Gewicht eine Geschwindigkeit von 500 m nur bei vergleichsweise sehr hohem Drucke erreicht werden kann, während das neue Pulver diese Geschwindigkeit bei verhältnismässig niedrigem Drucke erzeugt.

„Während für das Pulver nach bisheriger Anfertigungsmethode die Ladung von 40 kg mit Rücksicht auf den Gasdruck schon etwas zu hoch bemessen sein dürfte, lässt sich mit Pulver C/82 die Ladung unbedenklich bis zu 48 kg steigern, indem der Gasdruck nach dem Rodman-Apparat nur 2615 Atmosphären, nach dem Stauchapparate nur 2570 Atmosphären erreichte. Die Anfangsgeschwindigkeit des 140 kg schweren Geschosses stieg dabei bis auf 537 m.

„Der Versuch bestätigte auch noch andere günstige Eigenschaften des neuen Pulvers, und zwar:

„1. vergleichsweise geringe Rauchbildung,

„2. langsame Verbrennung in nicht geschlossenem Raume.

„Es wurde bei dem Versuche mit Beifall bemerkt und hervorgehoben, dass das Pulver C/82 weniger und dünneren Rauch erzeugt, als das Pulver C/75. Diese Eigenschaft ist selbstverständlich von höchstem Werte, da wie dies auch letzthin bei der Beschiessung von Alexandrien der Fall gewesen, sich langsam zerteilender Rauch die Thätigkeit der Geschütze zeitweise hemmen kann.

„Ein Pulverkorn C/82, frei angezündet, brennt nicht wie Pulver C/75 und C/68 momentan mit Explosion zusammen, sondern langsam, mit schöner, roter Flamme. Ein zugeschraubter Kasten, enthaltend 55 kg Pulver C/82 wurde entzündet; das Pulver brannte in circa 10 Sekunden ohne jede Detonation ab.

„Nach der Verbrennung zeigte sich, dass der zugeschraubte Deckel gelöst war, ohne jedoch seinen Platz verändert zu haben; er lag noch auf dem Kasten und war mit Ausnahme leichter Ankohlung vollständig erhalten; ebenso war der Kasten selbst ohne jede Beschädigung. Auch die Eigenschaft des Verbrennens ohne Explosion ist in vielen Fällen der Verwendung von Pulver von grossem Werte.

„Ein weiterer Vorzug des Pulvers ist der, dass es viel langsamer und in erheblich geringerer Weise Feuchtigkeit anzieht, als das bisherige Pulver. Diese Eigenschaft ist für die Lagerung in den Magazinen von erheblichen Vorteil."

Der letztgenannte Vorzug ist wohl einerseits der schwachgebrannten Kohle, andererseits der hohen Dichte von 1,870 des Pulvers C/82 zu verdanken.

Die Firma Krupp hat dieses Pulver auch in einem Geschütz von dem kolossalen Kaliber von 40 cm und 25 Kaliber Länge versucht. Die Ergebnisse sind aus folgender Tafel (S. 34 und 35) zu ersehen.

Datum	Geschütz	Schusszahl	Geschützladung: Pulversorte	Geschützladung: Gewicht Kg	Geschoss-: Gattung	Geschoss-: Gewicht Kg	Geschwindigkeit des Geschosses auf 75 m von der Mündung: Chronograph Nr. 301 (Meter)	Chronograph Nr. 302 (Meter)	im Mittel (Meter)	Anfangsgeschwindigkeit des Geschosses M
25. Sept.	30 Kaliber lange 21 cm Mantel-Ring-Kanone Nr. 115	1	P. P. C/82. Düneberg 50 mm Prismen	39	Panzer-granate	140	477,2	472,2	477,2	481
		3		42		140	495,2 +0,3 −0,3	465,2 +0,3 −0,2	495,2	499
		3		45		140	515,2 ±0,2	515,2 ±0,2	515,2	519
26. Sept.		3		48		140	533,2 +1,8 −2,7	533,0 +2 −3	533,1	537
27. Sept.		1	P. P. C/82. Düneberg gw. Prismen	48	Hartguss-granate C/69/76.	96,5	610,0	609,8	600,9	616
		1		48		96,5	605,0	605,0	605,0	611
		1		48		96,5	600,3	600,3	600,3	606
25. Sept.		3	P. P. C/75. 1881.	33	Panzer-granate.	140	444,1 +2,9 −3,7	444,1 +2,9 −3,7	441,1	447
		3		39		140	486,4 +2,1 −3,4	486,4 +2,1 −3,4	486,4	490
		3		40		140	493,3 +1,7 −1,3	493,3 +1,7 −1,3	493,3	497
26. Sept.		1	P. P. C/75. 1879.	40		140	502,3	502,4	502,4	506
		1		40		138,9	506,0	506,0	506,0	510
		1		42		96,5	601	601	601	607
29. Aug.	25 Kaliber l. 40 cm Kanone	1	P. P. C/82. Düneberg.	180		800	464,0	464,0	464,0	467
		2		210		801	512,8	512,0	512,4	516

Drei Jahre früher ergab in diesem Geschütz eine Ladung von 220 kg Pulver C/75 für ein 778 kg schweres Geschoss eine Anfangsgeschwindigkeit von 519,1 m, also eine totale lebendige Kraft von 10,685 Metertonnen, oder 48,6 mt per Kilogramm Pulver, und einen höchsten Gasdruck von 3182 Atmosphären nach dem Stauchapparate. Auf jede Atmosphäre kamen somit 3,35 Metertonnen lebendige Kraft des Geschosses. Das Pulver C/82 ergab jetzt bei 210 kg Ladung für das 801 kg schwere Geschoss eine Anfangsgeschwindigkeit von 516 m, also eine totale lebendige Kraft von 10,893 mt, oder 51,87 mt per Kilogramm Pulver. Die Pulververwertung war somit um beinahe 7 % gewachsen, und der Gasdruck hatte bis auf 2670 Atmosphären nach dem Stauchapparat abgenommen, so dass jetzt auf jede Atmosphäre 4,07 mt lebendige Kraft des Geschosses kamen, d. h. $21\frac{1}{2}$ % mehr.

Nach dem Düneberger-Krupp'schen Pulver C/82 wurden noch mehrere

Lebendige Kraft des Geschosses an der Mündung: Total $\frac{P. V^2}{2g.}$	Lebendige Kraft des Geschosses an der Mündung: p. Kg. Pulver $\frac{P. V^2}{2g. l}$	per Atmosphäre Gasdruck: Rodman-Apparat	per Atmosphäre Gasdruck: Stauch-Apparat	Gasdruck nach dem Rodman-Apparat	Gasdruck nach dem Stauchapparat
Meter-Tonnen				Atmosphären	
1648	42,3	0,85	0,83	1935	1975
1776	42,3	0,83	0,83	2130^{+25}_{-40}	2150^{+15}_{-20}
1922	42,7	0,81	0,81	2365^{+35}_{-45}	2830 ± 10
2057	42,9	0,79	0,80	2615^{+60}_{-30}	2570 ± 10
1868	38,9	0,79	0,79	2355	2340
1838	38,3	0,79	0,81	2335	2270
1810	37,7	0,78	0,80	2320	2255
1428	43,3	0,66	0,63	2170^{+85}_{-80}	2250^{+50}_{-35}
1713	43,9	0,64	0,61	2680^{+15}_{-5}	2825^{+15}_{-25}
1761	44,0	0,62	0,61	2830 ± 15	2905^{+35}_{-50}
1827	45,7	0,60	0,61	3035	2970
1839	46,0	0,56	0,59	3255	3130
1814	43,2	0,60	0,60	3035	3015
8837	49,37	4,21	4,35	2105	2045
10893	51,87	4,25	4,07	2570	2670

andere Pulver aus Salpeter, schwachgebrannter Kohle und wenig Schwefel hergestellt und auch für Handfeuerwaffen angewandt.

Gegen Ende der siebziger Jahre hatten namentlich die furchtbaren Verluste der Russen vor Plewna allseits Klarheit darüber geschaffen, wie mörderisch selbst ein ungezieltes, aber massenhaftes und bestreichendes Infanteriefeuer wirken kann. Die türkischen Verteidiger der Erdwerke von Plewna hatten ihren eigenen Aussagen nach selten mehr gethan, als ihre Gewehre geladen, annähernd wagerecht den Stürmenden entgegengehalten und abgedrückt; die Geschwindigkeit des Feuers aber und besonders die langen Strecken, welche die in beschriebener Weise abgesandten Geschosse bestrichen, bevor sie auf dem ebenen Schussfelde zur Erde kamen, hatten hingereicht, alle Todesverachtung der Angreifer nutzlos zu machen. Kriegsereignisse, wie diese, dürften sich selten mehr wiederholen; doch auch für den normalen Fall eines gezielten Schützenfeuers ist sowohl die Möglichkeit eines schnellen Feuerns, als auch die flache Gestaltung (Rasanz) der Geschossflugbahnen von höchstem Wert: ein schnelles Laden giebt dem glücklichen Schützen die Möglichkeit, schnell einen zweiten Gegner kampfunfähig zu machen, dem unglücklichen aber, vielleicht durch einen zweiten Schuss das beim ersten Versäumte nachzuholen, und je mehr sich die Flugbahn des Geschosses dem freilich unerreichbaren Ideal einer geraden Linie nähert, desto weniger schädlich wirken Fehler in der Entfernungsschätzung. So lange freilich eine Rauchwolke die Aussicht verdeckt, kann der Schütze weder die Wirkung des ersten Schusses beurteilen, noch ein zweites Mal zielen; daher fing man um das Jahr 1880 allgemein an, einzusehen, dass eine volle Ausnutzung der Feuerschnelligkeit von Repetiergewehren ohne Anwendung schwächer rauchender Schiesspräparate, als das gewöhnliche Schwarzpulver, nicht zu erreichen

sei, und auch die schon erwähnte Thatsache, dass selbst die englischen Vorderladungsgeschütze im Jahre 1882 vor Alexandrien durch ihre Rauchentwickelung gezwungen wurden, weit langsamer zu schiessen, als ihnen sonst möglich gewesen wäre, trug nicht wenig dazu bei, den Wunsch nach einem rauchlosen Schiessmittel zu einem immer dringenderen zu machen. Man griff, wie in den weiteren Abschnitten zu erzählen sein wird, zunächst auf früher aufgegebene Präparate in unveränderter Gestalt zurück und fand endlich in einer physikalisch abgeänderten Schiessbaumwolle das Gesuchte; auch Pulver nach Art von C/82 wurden aber für Gewehre versucht, und auch hierfür war neben dem Gesichtspunkt der zu vermindernden Rauchentwickelung derjenige der zu erhöhenden Geschossbahn-Rasanz massgebend.

Wie man einst den Geschützprojektilen die zum Durchschlagen der Panzerungen notwendige grössere Kraft nach missglückten Versuchen mit anderen Schiesspräparaten durch Vergrösserung der Schwarzpulverladungen verliehen, so glaubten jetzt einige der hervorragendsten Schiesstechniker bei ihren Bestrebungen, den Geschossen der Handfeuerwaffen zur Erzie-

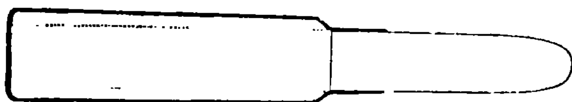


Abb. 10. Darstellung des den Rückstoss veranlassenden Druckes im Ladungsraum einer Feuerwaffe.

lung einer besseren Rasanz grössere Geschwindigkeiten mitzuteilen, bei der Aufgabe stehen bleiben zu müssen, anstatt des bis dahin üblichen Ladungsverhältnisses von etwa 1 Gewichtseinheit Pulver zu 5 Einheiten Geschossgewicht eine relativ grössere Menge Schwarzpulver anzuwenden. Absolut grössere Mengen Schwarzpulver unter Beibehaltung der alten Geschossgewichte anzuwenden, hatte die Zunahme des bei Handfeuerwaffen besonders lästigen, da auch noch nach dem heutigen Stande der Technik nicht gut durch dauerhafte mechanische Einrichtungen am Gewehr aufzufangenden Rückstosses unmöglich gemacht.

Der Rückstoss einer Feuerwaffe verdankt zweierlei Einwirkungen seine Entstehung: 1. den Explosionsdrücken, welche auf die Waffe bewegend einwirken, während das Geschoss den Lauf durcheilt; 2. der Reaktion der nach dem Abfliegen des Geschosses aus der Laufmündung ausströmenden Gase. Die unter 1. genannten Drücke sind stets dieselben, welche auch auf das Geschoss einwirken. Es sei z. B. in Abb. 10 durch die beiden punktierten Linien eine gedachte Verlängerung der cylindrischen Geschossmantelfläche bis auf den Boden des Ladungsraumes angedeutet, so werden in dem ringartigen Raume um den gedachten Cylinder die nach den

Seiten, nach vorn und nach hinten wirkenden Drücke einander das Gleichgewicht halten und keine Bewegung hervorbringen können; auf die vom Cylinder umschlossene Kreisfläche des Bodens aber werden genau dieselben Drücke einwirken, wie auf den Boden des Geschosses, und sie werden bewegend in Thätigkeit treten, sobald ihr Gegengewicht nach vorn fortfällt, d. h. das Geschoss sich in Bewegung setzt. Ihren mittleren Wert erhält man also, indem man die Mündungsgeschwindigkeit v des Geschosses von bekannter Masse m misst, nach der Formel $\frac{mv^2}{2}$ seine lebendige Kraft, und somit auch die von den Pulvergasen für die Geschossbewegung aufgewendete Arbeit berechnet und das Resultat durch die Lauflänge dividiert. Würden nun Gewehr und Geschoss unter dem Einfluss der gleichen Drücke gleich lange Wege zurücklegen, so würden sie auch die gleiche lebendige Kraft aufnehmen: das ist nie der Fall, da das Gewicht des Gewehres stets grösser ist, als das Gewicht des Geschosses. Bezeichnen wir mit:

p den mittleren Druck, der auf Gewehr und Geschoss zugleich einwirkt;

t die Zeit, innerhalb deren die eben genannte Einwirkung stattfindet, d. h. das Geschoss den Lauf durchläuft und das Gewehr zurückgetrieben wird;

m die Masse des Gewehres;

m_1 die Masse des Geschosses;

s den vom Geschoss unter dem mittleren Druck p durchlaufenen Weg (die Lauflänge);

s_1 den vom Gewehr in der gleichen Zeit zurückgelegten Weg;

so ist bekanntlich:

$$s = \frac{pt^2}{2m};$$

$$s_1 = \frac{pt^2}{2m_1};$$

daher

$$\frac{s}{s_1} = \frac{m_1}{m};$$

und da der mittlere Druck für Gewehr und Geschoss gleich ist, so verhält sich auch die Kraft, mit welcher das Gewehr nach hinten rückt, während das Geschoss die Laufmündung verlässt, zur lebendigen Kraft des Geschosses wie die Masse des letzteren zu der des ersteren.

Die nach dem Abfliegen des Geschosses ausströmenden Gase würden, wenn sie durchaus keine Spannung mehr besässen, natürlich auch keine Reaktion mehr ausüben. Eine so genaue mechanische Ausnutzung der

Explosionsgase für die Geschossbewegung findet in der Praxis nie statt; doch pflegen die Gase etwas brisanter Schiesspräparate an der Laufmündung nur noch eine unerhebliche Reaktionswirkung äussern zu können, und von den vorher auf die Waffe einwirkenden Impulsen wird z. B. bei Schiessbaumwoll-Ladungen oft ein Drittel und mehr durch Schwingungen und Formveränderungen im Material der Waffe aufgezehrt. Bei Schwarzpulverladungen hingegen weist eine unmittelbare Messung der Rückstossarbeit stets nicht nur den vollen nach 1. zu erwartenden, sondern auch einen sehr merkbaren der Reaktion zuzuschreibenden Betrag nach. Daher ergaben sich, als man versuchte, etwa 25 g schweren Geschossen durch verstärkte Schwarzpulverladungen Geschwindigkeiten von mehr als ca. 450 m zu geben, über das allenfalls noch statthafte Mass von $1^3/_4$ Kilogrammetern hinaus verstärkte Rückstösse, die durch Quetschung der Schulter und Erschütterung der Handgelenke des Schützen diesen bald unsicher machten und bei längerem Schiessen bis zur Unerträglichkeit belästigten. Die ohnehin schon bis 5 kg schweren Gewehre noch schwerer zu machen um den Rückstoss zu vermindern, ging nicht an; es blieb also nichts anderes übrig, als die Geschosse leichter zu machen, was auch durch einen grösseren, vom Soldaten zu tragenden Munitionsvorrat grosse Vorteile versprach. Die Erleichterung der Geschosse durfte keine Verkürzung, sondern nur ein Schlankermachen sein; denn von zwei Geschossen gleichen Gewichts, die mit gleicher Anfangsgeschwindigkeit abgehen, dringt offenbar dasjenige leichter in die Luft oder in jedes andere Medium ein, welches dem widerstehenden Medium den geringsten Querschnitt darbietet. Man setzte das Kaliber stufenweise unter das in den siebziger Jahren massgebende von 11 mm herab und glaubte um 1885 ziemlich allgemein, mit 8—$7^1/_2$ mm an der waffentechnisch erreichbaren unteren Kalibergrenze angelangt zu sein; — heute sind bekanntlich schon in mehreren Staaten Gewehre von $6^1/_2$ mm Kaliber eingeführt, und auch dieses dürfte in absehbarer Zeit einem noch kleineren weichen müssen. Schon beim 8 mm-Kaliber fing es aber an, sich zu zeigen, dass für so kleine Kaliber das alte Schwarzpulver zu wenig Kraft in zu grossem Volumen beherbergt. Nachdem man die Laufdurchmesser kleiner gemacht, war es höchst wünschenswert, auch die Ladungsräume schmäler zu gestalten, um ihnen ohne zu bedeutende Vermehrung des Metallgewichts eine für den vermehrten Druck genügende Festigkeit zu geben; die Patronen durften aber weder erheblich weniger Pulver erhalten, als früher, noch, um nicht zu lange Bewegungen der Verschlüsse zu erfordern und nach dem Schusse das Ausziehen der Hülsen zu erschweren, zu lang sein. Um hier Hülfe zu schaffen, wählten mehrere Konstrukteure den bereits bekannten Weg eines Pressens des Pulvers bis zur möglichsten

Verringerung seines Volumens, jedoch ohne Verschluss der Kanäle zwischen den Körnern. Zwei Typen solcher Munition, die dann vielen als Vorbilder dienten, rühren von Professor F. W. Hebler in Zürich und dem ebenfalls als Förderer der Kaliberverkleinerung rühmlich bekannten schweizerischen Major Rubin her. Rubin setzte einen gepressten Pulvercylinder mit kleinem Spielraum in die Hülse, so dass die Flamme des Zündhütchens die Pulverladung ringsum umspielen konnte; Hebler presste das Pulver in der Hülse unter Aussparung eines in der Axe durchgehenden Kanals für die Zündflamme. Das Bekanntwerden des neuen französischen rauchschwachen Pulvers für das Gewehr M/1886 machte die eben geschilderten Bemühungen überflüssig; zuvor erscheint aber noch auch auf dem Gebiet der Gewehrmunition ein Salpeterpulver mit verringertem Schwefelgehalt als letzte Fortbildungsstufe dieser Pulverarten. Nach Mitteilungen Prof. Hebler's in des schweizerischen Obersten Rudolf Schmidt „Allgemeiner Waffenkunde für Infanterie“ (Bern 1888) S. 153 konstruierte der erstgenannte im Jahre 1887 ein Gewehr von 7,56 mm Kaliber, dessen 14 g schweres Geschoss durch eine Ladung von 4 g komprimierten Pulvers eine 25 m vor der Laufmündung mit 588 m in der Sekunde bestimmte Geschwindigkeit erhielt. Als Rohmaterial des Pulvers wird nichts als Salpeter, Schwefel und Kohle, und als seine Vorzüge mässige Rauchentwickelung und niedriger Gasdruck genannt; es kann das wohl nur ein Pulver mit verringertem Schwefelgehalt und leichtverbrennlicher Kohle gewesen sein.

Mit dem Geschützpulver C/82 und den verwandten Pulvern ist das Höchste an ballistischer Wirksamkeit und Rauchverringerung erreicht worden, was sich mit dem Grundstoff des alten Schwarzpulvers, dem Salpeter unter Zusatz brennbarer, aber an sich nicht explosiver Stoffe erreichen liess. Von Salpeterpulvern mit explosiven Zusätzen (Pikraten, Nitrocellulose u. ä.) wird in späteren Kapiteln zu sprechen sein; zunächst führt uns die hier nach Möglichkeit beobachtete chronologische Ordnung zu denjenigen schwefelarmen oder schwefellosen Pulvern, in denen der Salpeter durch ein anderes, seinen Sauerstoff leichter abgebendes Salz ersetzt wurde.

II.

Chloratpulver.

Liebig rühmt in einem seiner Briefe der Phlogiston-Theorie nach, sie habe trotz ihrer groben Irrtümlichkeit ungemein befruchtend auf die Chemie eingewirkt: ein Beispiel hierfür wurde im vorigen Abschnitt gegeben. Ähnlichen Nutzen haben gerade auf dem uns hier beschäftigenden Gebiete irrige theoretische Spekulationen auch schon früher und selbst dann noch gebracht, als Lavoisier's Entdeckungen zu einer klaren Erkenntnis der Verbrennungs- und Explosionsvorgänge den Grund gelegt. Im ersten Teil dieser „Geschichte der Explosivstoffe" (S. 207—220) habe ich nachgewiesen, dass etwa 150 Jahre nach dem Bekanntwerden der Salpetersäure in Deutschland durch Nitration eines Teeröls ein Explosivstoff gewonnen wurde, der aus einer „Bombarde" mit ganz kurzem, weitem Lauf und viel engerem Ladungsraum (also dem in Abb. 2 dargestellten Probiermörser nicht unähnlich) doppelt so weit zu schiessen gestattete, als das gewöhnliche Pulver. Die ersten Versuche mit Salpetersäure anstatt des Salpeters in explosiven Mischungen hatte man offenbar auf Grund der in jener Zeit allgemein herrschenden Anschauung gemacht, dass das, was aus einem Stoff durch Destillation gezogen werde, auch stets das Wichtigste an ihm, der „Geist" sei. Bei der Nitration wurde aber auch Schwefelsäure und Salzsäure beigemischt: dies hatte man wahrscheinlich zuerst gethan, weil man auch in der Schwefel- und Salzsäure das „Grundprinzip" der Salpetersäure vermutete. Dass ein solches Grundprinzip, welches eben den charakteristischen Geschmack der Säuren veranlasse, vorhanden sei, nur mit verschiedenen Nebenbestandteilen verbunden auftrete, war seit den Anfängen der Chemie viele Jahrhunderte lang eine weit verbreitete Annahme, und viele Chemiker haben auf Grund missverstandener Beobachtungen geglaubt, eine der drei „Mineralsäuren" (Schwefelsäure, Salzsäure, Salpetersäure) in eine andere übergeführt zu haben. So versichert z. B. Glauber in seiner „Continuatio miraculi mundi"

(1657) und in „Teutschlands Wohlfahrt" (1656—1661), ihm seien Mittel bekannt, Kochsalz in Salpeter und Salzsäure in Salpetersäure zu verwandeln; bedenkt man, dass noch in demselben Jahre, in welchem Berthollet das chlorsaure Kali entdeckte und als ein von dem salpetersauren verschiedenes Salz beschrieb, Higgins in seinen „Experiments and observations relating to acetous acid etc." behauptet, es bilde sich bei der Einwirkung von Chlor auf Alkali eine Art Salpeter, so kann man der Vermutung Kopp's (im III. Bande der „Geschichte der Chemie", S. 363), dass schon Glauber das chlorsaure Kali gekannt, wenigstens nicht alle Berechtigung absprechen; für sie spricht auch die Thatsache, dass Glauber, wie aus dem ersten Teil seiner „Philosophischen Oefen" hervorgeht, Salzsäure mit Metalloxyden in Retorten erhitzt und dabei das Übergehen eines gelben Gases in die Vorlagen beobachtet hat. Leider giebt aber Glauber über die in Frage stehende Salpeterbereitung keine Einzelnheiten, so dass es sich auch um einen anderen Irrtum handeln kann. Wie dem auch sein mag, der theoretischen Annahme, dass allen Säuren ein gemeinsames Prinzip zu Grunde liege, vermochte sich auch Lavoisier noch nicht zu entziehen, und sie bewog ihn, den von ihm zuerst als Ursache des Verbrennungsvorganges nachgewiesenen Bestandteil der atmosphärischen Luft als in allen Säuren vorhanden zu betrachten und als „Sauerstoff" (oxygène) zu bezeichnen. Nachdem er das reichliche Vorhandensein von Sauerstoff in der Salpetersäure und in der Schwefelsäure nachgewiesen, sagt er in seinem „Traité de Chimie":

„Obgleich man bisher die Salzsäure weder zu zerlegen, noch zusammenzusetzen vermocht hat, ist es doch zweifellos, dass sie, wie die anderen, die Vereinigung einer oxydierbaren Basis mit dem Sauerstoff ist. Diese unbekannte Basis habe ich als die ‚muriatische (muriatique)' bezeichnet, nach dem lateinischen Worte ‚murias', welches einst ‚Seesalz' bedeutete . . ."

An den ersten Fehlschluss schlossen sich bald weitere an, doch führten die theoretischen Irrwege, welche Lavoisier und sein Schüler und Freund Berthollet von diesem Punkte aus einschlugen, neben mehreren anderen praktisch äusserst wertvollen Ergebnissen auch zur Entdeckung desjenigen Salzes, welches uns in diesem Abschnitt hauptsächlich beschäftigen soll, und dessen explosive Mischungen den sonst nicht mehr gebräuchlichen Namen der „muriatischen" vielfach noch bis heute beibehalten haben.

Die Analogie, welche Lavoisier auch die Salzsäure (Chlorwasserstoffsäure) für eine Sauerstoffsäure halten liess, liess ihn auch annehmen, dass es für die „muriatische Basis", wie für die der Schwefelsäure und der Salpetersäure, mehrere Oxydationsstufen geben müsse. Diese Annahme erhielt durch die Untersuchung des im Jahre 1774 durch Scheele ent-

deckten oder wiederentdeckten Chlors eine scheinbare Bestätigung. Scheele hatte das Chlor durch Erhitzen von Salzsäure mit Braunstein erhalten; Lavoisier wies nun, nachdem er seine Säuren-Theorie aufgestellt, nach, dass die Wirksamkeit des erhitzten Braunsteins (Mangansuperoxyds) in reichlicher Sauerstoff-Abgabe besteht, und meinte nun, das Chlor sei nichts Anderes als eine höhere Oxydationsstufe der Salzsäure (thatsächlich verbindet sich der aus dem Braunstein freiwerdende Sauerstoff mit dem Wasserstoff der Salzsäure und Chlor wird frei). Berthollet setzte die Versuche fort und fand noch einen zweiten Scheinbeweis für die Zusammensetzung des Chlors als „oxydierte Salzsäure". Er fand, dass Wasser, in welches man Chlor geleitet, am Sonnenlicht oder in Gegenwart oxydierbarer Körper Sauerstoff frei werden lässt, während Salzsäure zurückbleibt. Es geschieht dies, weil sich das Chlor mit dem Wasserstoff des Wassers verbindet, so dass der Sauerstoff aus dem Wasser frei wird; Berthollet meinte aber, das Chlor werde hierbei in Sauerstoff und Salzsäure zerlegt, und bekehrte sich erst im Jahre 1812, achtzehn Jahre nachdem die Guillotine Lavoisier's Lebensfaden abgeschnitten, zur richtigeren Ansicht Davy's, dass die Salzsäure eine Verbindung des Elements Chlor mit dem Wasserstoff sei; denn die Versuche mit der Zersetzung der Salzsäure führten im Jahre 1786 zur Entdeckung eines Salzes, dessen Vorhandensein die Spekulationen Lavoisier's ganz überraschend zu bekräftigen schien. Nachdem er die stark bleichende Einwirkung des chlorhaltigen, Sauerstoff entwickelnden Wassers auf ungebleichte Leinwand, die man bis dahin nur durch wochenlanges Anfeuchten und Auslegen auf dem Rasen zu bleichen verstand, erkannt, wollte Berthollet untersuchen, ob auch die Salze der „oxydierten Salzsäure" diese oxydierende Wirkung auszuüben im stande wären, und erhielt u. a. beim Einleiten von Chlorgas in eine heisse, konzentrierte Ätzkalilösung neben Chlorkalium noch ein zweites Salz, welches erhitzt weit leichter Sauerstoff abgab, als irgend ein anderer damals bekannter Körper. Die Säure dieses neuen Salzes hielt nun Berthollet natürlich für die dritte Oxydationsstufe des „Muriums", und nannte es „überoxydiert salzsaures Kali".

Dieses Salz, welches heute als eine Verbindung des Kaliummetalls mit der Chlorsäure ($KClO_3$) erkannt ist und gewerblich als Kaliumchlorat, chlorsaures Kali und auch „Bertholletsalz" bezeichnet wird, wird heute in grossen Mengen fabrikmässig erzeugt, indem man zunächst aus Salzsäure und Braunstein entwickeltes Chlor in heisse Kalkmilch (durch die Einwirkung von Chlor auf kalten Kalk entsteht der als Bleich- und Desinfektionsmittel sehr bekannte Chlorkalk) leitet, wobei sich neben Chlorcalcium chlorsaurer Kalk bildet. Mit dann oder schon der Kalkmilch hinzugesetztem Chlorkalium ergiebt der letztere durch Umsetzung chlorsaures

Kali und weiteres Chlorcalcium; da das Chlorcalcium sehr leicht, das Kaliumchlorat dagegen ziemlich schwer löslich ist, lässt sich durch Krystallisieren und Abwaschen mit mässigen Kosten ein chlorcalciumfreies und nicht hygroskopisches chlorsaures Kali gewinnen. Seine gewerbliche Wichtigkeit verdankt dieses Salz jetzt weit mehr seiner Verwendung in der äusseren Heilkunst, in der Färberei, in der Zündwarenindustrie und in der Lustfeuerwerkerei, als solcher zur Herstellung von Schiesspulvern und Sprengmitteln. Schon im Jahre 1789 entdeckte B. Pelletier, dass sich Mischungen des Kaliumchlorats mit brennbaren Substanzen unter der Einwirkung konzentrierter Schwefelsäure entzünden. Es geschieht dies, weil das Kaliumchlorat mit der Schwefelsäure die sehr flüchtige und brennbare Körper bei der Berührung entzündende Unterchlorsäure (ClO_2), schwefelsaures und überchlorsaures Kali ergiebt. Das letztgenannte Salz (KCl_4) erhält man auf weniger gefährliche Weise durch vorsichtiges Erhitzen von Kaliumchlorat, wobei sich überchlorsaures Kali, Chlorkalium und freier Sauerstoff bilden; es ist weniger empfindlich als das Kaliumchlorat, und würde dieses, wie oft vorgeschlagen, für viele Zwecke mit technischem Vorteil ersetzen können; doch hat es seines etwa zehnfach höheren Preises wegen bisher wohl noch keine irgend erhebliche praktische Anwendung gefunden. Die Entdeckung B. Pelletier's hat mehrfach auch zur Erfindung von Torpedo-Zündungen u. ä. geführt, hauptsächlich aber bildete sie den Ausgangspunkt für die Entstehung der heute fast unentbehrlichen phosphorfreien Zündhölzchen. Ursprünglich mussten sie in ein etwas Schwefelsäure auf Asbest enthaltendes Fläschchen eingetaucht werden; später entdeckte man, dass sie sich auch durch Reiben an einer mit rotem (ungiftigem) Phosphor bestrichenen Fläche (wobei immer etwas Phosphor in die Chloratmasse hineingerieben wird) entzünden. Auch zu Lustfeuerwerksätzen wird viel Kaliumchlorat, namentlich als Sauerstofflieferer für sonst zu träge abbrennende Farbenfeuer verbraucht; vereinzelt dient auch unmittelbar das Bariumchorat für Grün- und das Strontiumchlorat für Rotfeuer. Zur Herstellung von Schiesspulvern und Sprengstoffen haben Verbindungen der Chlorsäure mit anderen Metallen, als Kalium, keine Verwendung gefunden; wie die entsprechenden Nitrate, enthalten sie teils weniger Sauerstoff, teils sind sie in hohem Grade hygroskopisch, der Preis der Chlorate ist aber stets weit höher. Das Barium- und Strontiumchlorat geben ihren Sauerstoff etwas weniger leicht ab, als das Kaliumsalz; auch sie dürfen aber, will man sich nicht gefährlichen Explosionen aussetzen, nur für sich allein und unter strengem Ausschluss brennbarer Stoffe (wie etwa Holzspäne o. ä.) pulverisiert, und nur in angefeuchtetem Zustande und sehr vorsichtig mit den anderen für den Zweck erforderlichen Substanzen zusammengerieben werden. Die

letztgenannte Operation darf stets nur von Hand und mit kleinen Mengen vorgenommen werden; das Zerkleinern des reinen Kaliumchlorats geschieht im fabrikmässigen Betriebe meistens mit Kollergängen. Unter den verschiedenen Abarten dieser Maschinen eignet sich für gewöhnliches Schiesspulver wie für alle Arten explosiblen Materials die in Abb. 11 dargestellte, von H. Gruson in Magdeburg-Buckau erfundene am besten. Bei dieser Konstruktion dreht sich jeder der beiden Läufer auf einer mit ihrem Zapfen im Kreuzkopf der Königswelle gelagerten Kurbelachse, ist somit in seinen Bewegungen vollkommen unabhängig von dem anderen Läufer, und seine arbeitende Fläche bleibt stets parallel zur Bahn, während bei den gewöhnlichen Kollergängen mit gemeinschaftlicher, gerader, in der Königswelle gelagerter Läuferachse eine grössere Menge Pulver o. ä. unter einem Läufer diesen hebt und zugleich den anderen hinunterdrückt, so dass sich die arbeitenden Flächen zur Bahn schief stellen. Ferner sind in der Gruson'schen Konstruktion beide Läufer an einer auf der Königswelle sitzenden Traverse doppelt derart aufgehängt, dass ihre geringste Entfernung von der Bahn beliebig regulierbar, eine Berührung mit der Bahn aber ausgeschlossen ist; der Läufer kann also nicht, nachdem er über einen grösseren Klumpen des verarbeiteten Materials oder ein anderes Hindernis hinweggerollt ist, auf die Bahn fallen oder auf aus irgend einer Ursache auf der Bahn vereinzelt vorgefundene kleine Mengen Material mit gefährlicher Reibung einwirken. Die gleichmässige Ausbreitung des Materials auf dem Läuferteller wird übrigens bei den Gruson'schen Läuferwerken auch durch die nach ausgedehnten Erfahrungen festgesetzte Form der Pflüge, welche die von den Läufern zerteilte Masse stets wieder in die Läuferbahn zurückstreichen, gefördert. —

Die leichte Zersetzlichkeit des Kaliumchlorats durch unmittelbare Erhitzung oder durch mechanische Einflüsse verleiht Mischungen, welche es als Sauerstoffträger für eine explosive Verbrennung in grösserer Menge enthalten, eine Verbrennungsgeschwindigkeit, die sie zum Sprengen weit geeigneter macht, als zum Schiessen. Unter besonders günstigen Umständen können natürlich alle Stoffe, die sich unter Luftabschluss zu Gasen zersetzen, sprengende Wirkungen hervorbringen: ein Raketensatz kann eine eiserne Bombe sprengen, wenn das Mundloch für ein „Hinausblasen" der Verbrennungsgase zu eng ist; so günstig liegen aber die Verhältnisse in der Praxis fast nie: schon beim Sprengen mit gewöhnlichem Schwarzpulver in Gestein kommt es nur allzu oft vor, dass die Verbrennung der ersten Partieen der Ladung durch Lockerung des Besatzes oder Erweiterung im Gestein vorhandener Spalten Wege eröffnet, durch welche dann der spätere und grösste Teil der Explosionsgase unausgenutzt entweicht. Wünscht man also nicht etwa aus besonderen Gründen mehr eine spal-

tende und zu grossen Stücken zerteilende als eine eigentlich zerstörende und zerschmetternde Wirkung zu erzielen, so wird man zum Sprengen Explosivstoffe wählen, die so schnell abbrennen, dass selbst schwach zusammenhängende Sprengraum-Wände keine Zeit haben, sich zu trennen und dem vollen Stoss der Explosionsgase auszuweichen. Dass bei Schiesspräparaten ein so schnelles Fortschreiten der Explosion überflüssig und unerwünscht ist, wurde schon im vorigen Abschnitt ausgeführt. Demgemäss hat auch das Kaliumchlorat in der Explosivstofffabrikation für Sprengstoffe weit erfolgreichere Anwendung gefunden, als für Schiess-

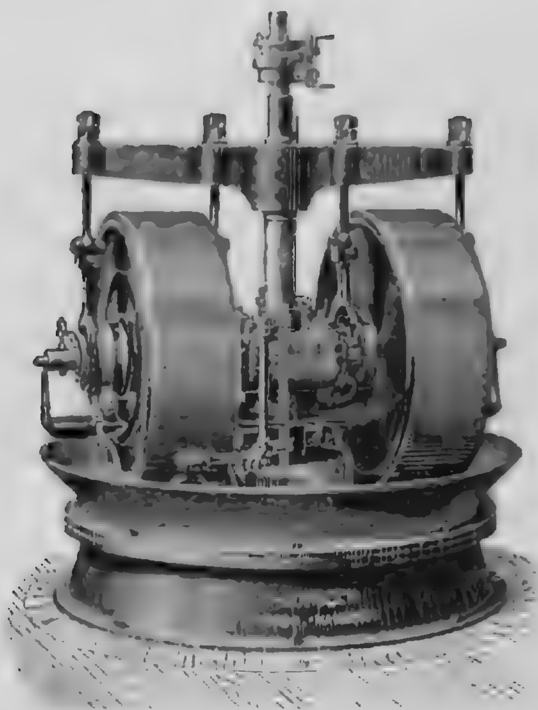


Abb. 11. Gruson's Kollergang.

präparate; namentlich seitdem Sprengel ein ungefährliches Verfahren zur Herstellung von explosiven Chloratmischungen angegeben hat (H. Sprengel, A new class of Explosives, London 1874). Nach diesem Verfahren wird das chlorsaure Kali, etwas angefeuchtet, unter langsam verstärktem Drucke in beliebigen Formen zu Kuchen gepresst, die etwa die Festigkeit von Hutzucker und eine je nach der Feinheit des gepressten Salzpulvers und der Stärke der Pressung verschiedene Porosität besitzen und mit flüssigen, verbrennlichen Substanzen getränkt, ohne jede Gefahr beim Mischen starke Explosivstoffe ergeben. Um auch Gefahren durch den Transport

zu vermeiden, bereitet man diese Explosivstoffe am zweckmässigsten an Ort und Stelle des Verbrauchs: die Chloratkuchen werden, in einem Drahtkorbe an einer Federwage hängend, in die verbrennliche Flüssigkeit getaucht, bis sie davon die erforderliche Menge eingesogen haben. Die Flüssigkeit ist gewöhnlich eine bei normaler Temperatur flüssige und nicht eintrocknende; doch können auch geschmolzene Stoffe von niedrigem Schmelzpunkt, Auflösungen von geeigneten Stoffen in das Kaliumchlorat nicht lösenden Substanzen oder eintrocknende Flüssigkeiten, wie z. B. Leinöl, angewandt werden. Mit Flüssigkeiten, die an sich, wenn auch nur sehr schwach, explosiv sind, wie das Nitrobenzol,[1]) ergiebt Sprengel's Methode sehr brisante Explosivstoffe (die Nitrobenzolmischung ist u. a. zur Sprengung des Hellgate-Riffs vor New-York benutzt worden); eher weniger brisant, als nach anderen Methoden hergestellte Chloratsätze wirken, wie ich durch Versuche festgestellt habe, von chlorsaurem Kali gepresste Körper, die z. B. mit einer Auflösung von Schellack in Weingeist getränkt und getrocknet worden; auch sie greifen aber auf chemischem Wege, durch Chlorentwickelung, das Metall der Waffen an, wie das schon die ersten Chloratsätze gethan, nachdem zunächst Versuche, sie wie das alte Pulver zu behandeln, zu Unglücksfällen geführt.

Berthollet hatte seine Annahme, dass das „überoxydiert salzsaure Kali" die Funktion des Salpeters im Schiesspulver übernehmen könne, durch Versuche im Kleinen bestätigt gefunden und kam mit der Leitung der Staatspulverfabriken überein, es solle in der Stampfmühle zu Essonne Schiesspulver mit seinem Salz anstatt des Salpeters und vermindertem Schwefelgehalt, sonst aber, wie gewöhnlich, hergestellt werden. Abb. 12 zeigt die Hauptsachen der Einrichtung einer Stampfmühle, wie sie in jener Zeit in Essonne im Betriebe war: eine durch das links sichtbare Wasserrad A getriebene, mit Hebedaumen HH besetzte Welle B hebt abwechselnd

---

[1]) Das Nitrobenzol, $C_6H_5(NO_2)$ stellte zuerst Mitscherlich durch Eintröpfeln von Benzol (Benzin, C_6H_6) in kochende, rauchende Salpetersäure her (Poggendorf's Annalen 1834, S. 625). Es wird jetzt unter Benutzung von Salpeter- und Schwefelsäure zum Nitrieren in bedeutenden Mengen fabrikmässig erzeugt und dient durch seinen starken Mandelgeruch in der Parfümerie, hauptsächlich aber wird es zu Anilinfarben weiter verarbeitet. Kocht man ein Gemenge von 5—6 Teilen rauchender Salpetersäure und 1 Teil Benzol bis auf etwa $^1/_5$ des ursprünglichen Volumens ein (Deville in Muspratt's Annalen LVII [1841], S. 214), oder giesst zu einem Gemisch von gleichen Teilen Salpeter- und Schwefelsäure Benzol, so lange Auflösung erfolgt, kocht einige Minuten und lässt erkalten, so setzen sich Krystalle von Dinitrobenzol, $C_6H_4(NO_2)_2$ ab. Durch tagelanges Kochen von Dinitrobenzol mit hochkonzentrierter Salpetersäure und Schwefelsäure erhält man Trinitrobenzol, $C_6H_3(NO_2)_3$ (Paul Hepp in den Berichten der Deutschen Chemischen Gesellschaft IX [1876], S. 402). Alle diese Nitroverbindungen des Benzols sind für sich allein schwer oder gar nicht zur Explosion zu bringen. Über seltenere Isomeren s. Ladenburg's Wörterbuch der Chemie, Bd. II.

die Stempel SS und lässt sie in mörserartige Aushöhlungen des Klotzes E, die die zu bearbeitende Pulvermasse aufnehmen, fallen; die Bearbeitung dieser erfolgt also durch fortgesetzte, heftige Stösse. Die Folge des Versuches, chlorsaures Kali in einer seiner Eigenart so wenig entsprechenden Weise zu behandeln, war eine furchtbare Explosion, der zwei Personen zu Opfern fielen und der Erfinder selbst nebst Lavoisier nur wie durch ein Wunder entgingen.[1]) Berthollet liess sich auch durch diese Katastrophe von weiteren Versuchen mit seinem Salze nicht abschrecken; sie führten aber nur zu sehr beschränkten Erfolgen. In einem Buche der beiden französischen Pulverfabrikations-Kommissare Bottée und Riffault über das Schiesspulver (deutsch als „Anweisung, das Schiesspulver zu bereiten"

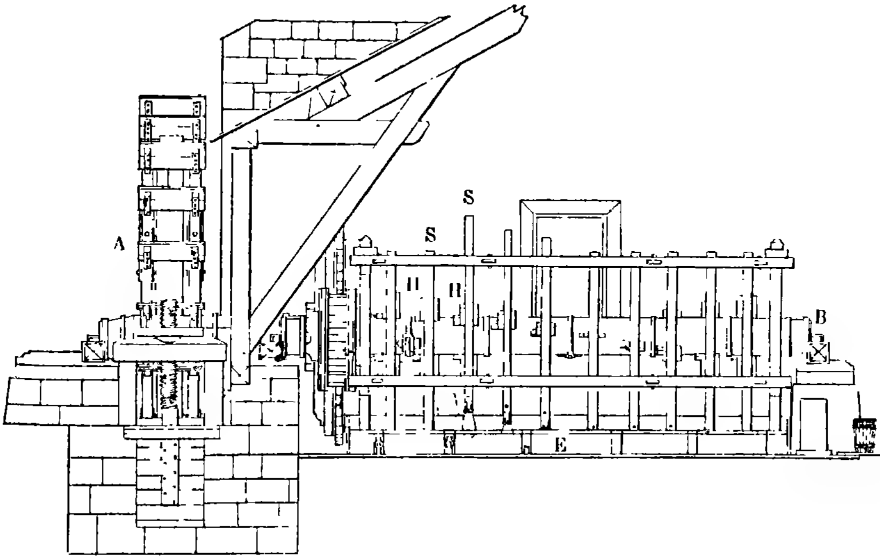


Abb. 12. Stampfmühle.

von F. Wolff, Berlin 1816), dem auch — unter Fortlassung unwesentlicher Einzelnheiten — Abb. 1, 2 und 12 entnommen sind, heisst es:

[1]) Ein als „der eines Augenzeugen" bezeichneter und einen Sachverständigen verratender Bericht im „Journal de Paris" vom 31. Oktober 1788 besagt in der Hauptsache:

„Die Leiter des Pulverwesens hatten erfahren, dass Herr Berthollet einen Stoff entdeckt, der geeignet wäre ein allen bisherigen weit überlegenes Schiesspulver zu ergeben, und konnten nicht umhin, einen Fabrikationsversuch damit zu machen. . . . Am 27. Oktober, um 6 Uhr, ging man daran: 16 Pfund Satz wurden in den festgesetzten Mischungsverhältnissen abgewogen, die Kohle sorgfältig befeuchtet, und genau um 7 Uhr begann das Stampfen. Man bemerkte bald, dass sich der Pulversatz in dem Mörser zu stark zusammenballte und setzte noch 4 Pfund Satz mit gut befeuchteter Kohle hinzu. . . . Herr Letors (einer der mit dem Versuch betrauten Beamten) schob in seinem Eifer nach jedem Stempelstosse mit einer Art Spatel von Holz den Satz in die Mitte des Mörsers zurück und meinte, es biete dies

„Man war lange Zeit der Meinung, dass nur die salpetersauren Salze es wären, welche mit Schwefel und Kohle gemengt die Zusammensetzung zu Schiesspulver bilden könnten, als Berthollet anzeigte, dass man noch weit stärkere Detonationen mit dem oxydiert salzsauren Kali erhalten könne, einem Salze, welches im Grossen zu bereiten er Mittel gefunden hätte. Nur mit Bedauern erinnern wir uns an eine Epoche, welche so traurige Wirkungen für unsere Administration hervorgebracht hat, und welche noch immer schmerzhafte Erinnerungen in uns erregt; wir glauben aber, dass, da wir hier von neuem auf die Substanzen zurückkommen, welche zur Fabrikation des Schiesspulvers angewandt werden können, wir nichts übergehen dürfen, was man in dieser Hinsicht versucht hat; und wir führen daher das, was Berthollet selbst über das mit oxydiert salzsaurem Kali bereitete Schiesspulver im neunten Bande der Annales de Chimie, Seite 22 und 23, sagt, hier wörtlich an.

„ „Einige Zeit nachher, als ich in den Annales de Turin angezeigt hatte, dass das oxydiert salzsaure Kali ein Schiesspulver geben könne, welches besondere Eigenschaften besässe, machte ich bei mir Vorbereitungen zu diesem Schiesspulver. Ich hatte damals Gelegenheit, Herrn de Bullion zu sehen, welcher, da er schon mehrere Versuche über die Fabrikation des gewöhnlichen Schiesspulvers angestellt hatte, sich erbot, auch das zu bereiten, mit dem ich mich beschäftigte; ich nahm sein Anerbieten mit Dank an und kam mit ihm überein, das Schiesspulver in den gewöhnlichen Verhältnissen zusammenzusetzen, nur aber das Verhältnis des Schwefels etwas zu verringern. Bald nachher überschickte er mir eine Probe von diesem Schiesspulver, welches er schon probiert hatte und welches an Stärke das beste Schiesspulver aus dem Arsenal übertraf.

„ „Diese Versuche veranlassten die Regie über das Schiesspulver und den Salpeter, sich beim Minister auszuwirken, dieses Schiesspulver zu fabrizieren und seine Eigenschaften zu untersuchen. Ich verweile nicht bei dem traurigen Ereignisse zu Essonne.[1])

---

keine Gefahr für ihn, da der Satz noch wenig vermengt sei; damals standen Herr und Frau Lavoisier, Herr Berthollet, der Kommissar Herr von Chevraud, der Eleve Herr Mallet und der Pulvermachermeister Aldin neben ihm. . . . Um $8^1/_4$ Uhr fand man das Pulver schon weiter fortgeschritten, als man erwartete, und entfernte sich, um zu frühstücken. . . . Nach einer Viertelstunde kehrte man zurück; eine der Töchter des Herrn von Chevraud ging mit Herrn Lefort voran. . . . Herr Berthollet verweilte eine Zeit lang mit Herrn und Frau Lavoisier und Herrn von Chevraud in einem anderen Teil der Fabrikanlage. Um $8^3/_4$ Uhr wollten sie sich alle wieder an den Ort des Versuches begeben; kaum hatten sie aber einige Schritte zurückgelegt, als ein starker Knall ertönte und eine Rauchwolke sich erhob. Man eilte an Ort und Stelle, fand das Stampfwerk völlig zerstört und Herrn Letors und Fräulein von Chevraud auf 30 Fuss Entfernung fortgeschleudert und schrecklich verstümmelt. Der erstere hatte ein Bein fortgerissen, das andere nebst einer Hand zerschmettert, auch ein Auge und die ganze Kopfhaut verloren und lebte nur noch wenige Augenblicke; Fräulein von Chevraud, gleichfalls vielfach verwundet, starb noch vor ihm. . . ."

[1]) „In dieser ersten Zeit versuchte Herr Riffault zu Ripault, dies Schiesspulver in hinreichender Menge zu bereiten, um eine Ladung des Probiermörsers damit zu machen. Er

„ „Herr Lavoisier und ich säumten nicht zu untersuchen, ob es nicht möglich sei, den Ereignissen vorzubeugen, welche aus der Leichtigkeit entspringen, mit der dieses Schiesspulver sich bei einer starken Erschütterung entzündet; und wir sahen bald, dass es keine so lange Bearbeitung und so heftiges Stampfen, als das gewöhnliche Schiesspulver erfordert. Man macht es sehr leicht auf einem marmornen Tische mit einem Reibestein, so wie man Farben reibt. Den Teig muss man immer wohl befeuchtet halten. Zweistündiges Reiben ist hinreichend, es trocknet sehr leicht durch freiwilliges Verdunsten, und es körnt sich, wenn es auf dem gehörigen Punkte ist, auf die gewöhnliche Weise. Herr Royer hat zu verschiedenen Malen dergleichen Schiesspulver bereitet, und es in verschiedenen Verhältnissen angefertigt, um es zu den von uns vorgeschlagenen Proben zu gebrauchen. Man sieht, dass dieses Schiesspulver ungeachtet seiner schrecklichen Wirkungen mit weniger Gefahr bereitet werden kann, als das gewöhnliche.“ “

„Die Erfahrung hat bewiesen, dass Berthollet in dieser Hinsicht sich durch zu grosse Erwartungen getäuscht hat; es wurde eine Fabrikation dieses Schiesspulvers während der Revolution anbefohlen; sie hatte zu Paris in einem Gebäude in der Vorstadt Saint-Germain statt. Herr Fallot, welcher, nachdem er lange Zeit Gehilfe im Laboratorium des berühmten Macquer gewesen, und als Direktor über die Arbeiter in der Salpeterraffinerie des Arsenals angestellt worden war, und der fast alle Tage im Laboratorium unsers berühmten Chefs Lavoisier arbeitete, wurde mit dieser Fabrikation beauftragt; kaum aber hatte er zwei Gefässe damit füllen können, als alles Schiesspulver, welches in der Arbeit war, mit der grössten Heftigkeit aufflog, und diese Wirkung wurde durch das blosse Reiben der Scheibe gegen die Wände des Siebes, in welchem man das Schiesspulver körnte, hervorgebracht.[1])

---

verfertigte demzufolge mit vieler Vorsicht, und in kleinen Portionen, etwa $6^1/_2$ Lot davon. Es hatte dies Schiesspulver, mit welchem er die gewöhnliche Behandlung nicht vorzunehmen wagte, kaum die Form von Körnern angenommen, und war noch nicht vollkommen getrocknet. Man bediente sich zum Versuche, bei einer Ladung von 6 Lot, eines alten schadhaften Mörsers, aus dem man mit gewöhnlichem Kriegsschiesspulver von guter Beschaffenheit nur eine mittlere Schussweite von 575 Fuss erhalten konnte. Das Pulver mit oxydiert salzsaurem Kali wurde mit der grössten Vorsicht in die Kammer des Mörsers, die Kugel in die Seele gebracht; das Feuer legte man mittelst eines langen Stückes Zündschwamm an. Der Schuss drang mit grosser Lebhaftigkeit heraus, und die Kugel, welche man kaum mit den Augen in der Luft verfolgen konnte, wurde etwa 1173 Fuss weit fortgeschleudert, und senkte sich bei ihrem Falle so tief in die Erde ein, dass man sie nur mit Mühe finden und herausnehmen konnte.“

[1]) Man körnte in jener Zeit das Schiesspulver, indem man die aus den Stampflöchern oder vom Kollergang-Teller genommene, getrocknete und mit hölzernem Hammer in etwa nussgrosse Stücke zerschlagene Pulvermasse zusammen mit einem linsenförmigen, harten, mit Blei ausgegossenen hölzernen Läufer in einem Siebe, welches auf einer brückenartigen Leiste über dem das gekörnte und das Mehlpulver aufnehmenden Kasten glitt oder an Schnüren hing, mit den Händen in eine rüttelnde Kreisbewegung versetzte. Um auch gleich in einer Operation das gekörnte Pulver von dem mehlförmigen zu trennen, brachte man später unter

„Wirklich wurde seitdem eine ziemlich grosse Menge dieses Schiesspulvers durch den Chemiker Welter im Schlosse zu Meudon verfertigt; aber die Geschicklichkeit dieses trefflichen Arbeiters ist bekannt und wir glauben, dass sein Glück bei der Fabrikation des Schiesspulvers mit oxydiert salzsaurem Kali im Grossen nicht zu der Meinung berechtigen könne, als böte dieses Schiesspulver bei seiner Verfertigung weniger Gefahren, als das gewöhnliche, dar. Im Gegenteile scheint uns, dass man nur mit vieler Vorsicht dabei zu Werke gehen und seine Bereitung nur sehr geübten Händen anvertrauen müsse.

„Doch hat, als vor etwa einem Jahre sich jedermann mit der Fabrikation dieses Schiesspulvers aus oxydiert salzsaurem Kali beschäftigen wollte, dieses zur Erfindung einer neuen Art von Flintenschloss Anlass gegeben, in welchem ein Stempel, auf welchen der Hahn, der die Gestalt eines Hammers hatte, schlug, durch den Stoss das Zündkraut, aus dieser gefährlichen Mischung bestehend, entzündete.

„Im zweiten Teile des achten Jahrganges der Bibliothèque physico-économique, Seite 83, findet man, dass ein Schiesspulver dieser Art, von Herrn Pajot-Laforet verfertigt, die dreifache Stärke des gewöhnlichen Kriegsschiesspulvers hatte. Die Art dieser Versuche aber giebt hinlänglich zu erkennen, dass dabei nicht der Zweck berücksichtigt wurde, sich eine durch Stoss detonierende Mischung zu verschaffen, deren Wirkungen so wenig Gefahr als möglich darbieten. Herr Bottée, dem Herr Gengembre, Generalinspektor der Münze, seinen Bericht an die Société d'encouragement über das neue Flintenschloss des Herrn Lepage mitgeteilt hatte, unternahm mit diesem ausgezeichneten Künstler eine Reihe von Versuchen, deren Resultat die Entdeckung eines Gemenges mit dem oxydiert salzsaurem Kali war, welches zu gleicher Zeit die Eigenschaft hatte, lebhaft bei dem Stosse des stählernen Stempels an dem Lepageschen Flintenschlosse zu detonieren, keine Wirkung an der Probe zu zeigen, und selbst auf der Pfanne einer Flinte durch den Funken kaum entzündlich zu sein, wo es wie nassgewordenes Pulver brannte.

„Das Mischungsverhältnis dieses Pulvers war folgendes:

Überoxydiert salzsaures Kali	0,450
Salpetersaures Kali	0,250
Schwefel	0,150
Geraspeltes und durch ein seidenes Sieb gesiebtes Faulbaumholz	0,075
Lykopodium	0,075
	1,000

dem ersten ein zweites (Sortier-) Sieb, und endlich noch einen Boden für das sonst stark staubende Mehlpulver an. Jetzt wurde das Bewegen des Siebsystems, welches während der Arbeit nicht an Gewicht verlor, bedeutend mühsamer, und man liess es für mehrere in einem hängenden Rahmen vereinigte Siebe zugleich durch eine mit dem Mühlwerk in Verbindung stehende senkrechte Kurbel besorgen. Lefebvre brachte an den Siebsystemen Zu- und Ableitungsschläuche an; seine Maschine wurde mit dem Aufkommen dichterer und festerer Pulver immer mehr durch die noch im Späteren zu erwähnenden Walzen-Körnmaschinen verdrängt, ist aber für leichtere Sorten von Schwarzpulver noch vielfach in Gebrauch.

„Man befeuchtete dieses Gemenge mit etwa 30 Procent Wasser, welches ein Hundertteil arabisches Gummi aufgelöst enthielt.

„Herr Bottée hat Proben von diesem Schiesspulver an den General Gassendi geschickt, welcher sie bei Versuchen über ein Mittel von seiner Erfindung, das Feuer durch Stoss in die Kanonen zu bringen, angewandt hat.

„Er hat gleichfalls eine Probe davon an Herrn Guyton de Morveau gegeben, welcher sie an Herrn Fulton zu seinen Versuchen mit der Maschine, welche er den Kriegszitterfisch (torpille de guerre) nennt, und die den Zweck hat, Minen unter dem Wasser anzulegen, schickte.

„Endlich hat der Gewehrfabrikant Lepage eine bedeutende Menge davon mit Erfolg beim Gebrauche seiner neuen Flintenschlösser angewandt.

„Da aber die Erfahrung gelehrt hat, dass alles mit überoxydiert salzsaurem Kali bereitete Schiesspulver den grossen Nachteil habe, die Gewehre auf eine sehr bedeutende Art rostig zu machen, so war man genötigt, zur Bedienung der Flintenschlösser von dieser Erfindung zu einem anderen detonierenden Gemenge seine Zuflucht zu nehmen, und man gebraucht jetzt mit Vorteil dazu ein mit Knallsilber zusammengesetztes Schiesspulver."

Mit chlorsaurem Kali bereitete Schiesspulver greifen das Metall der Waffen nicht nur, wie hier angedeutet, dadurch an, dass sie einen schwer zu entfernenden, hygroskopischen und daher die Rostbildung (Oxydation) befördernden Rückstand hinterlassen, sondern auch unmittelbar durch die Entwickelung freien Chlors, so dass, wie durch Gay-Lussac festgestellt wurde, auch das Platin gegen sie nicht chemisch widerstandsfähig ist. Weitaus der grösste Teil einer Chloratmischung zersetzt sich zwar stets derart, dass das chlorsaure Kali seinen Sauerstoff an die verbrennliche Substanz abgiebt und sich in Chlorkalium verwandelt; die Einfachheit dieser Reaktion erklärt auch, neben der leichten Sauerstoff-Abgabe durch das Chlorat, ihren schnellen Verlauf derjenigen des Schwarzpulvers, bei der nach der eigentlichen Verbrennung eine Verbindung der Verbrennungsprodukte der Kohle und des Schwefels mit dem Kali eintritt, gegenüber; wie sich aber schon bei der Erhitzung des Chlorats allein bis zu einer zur Austreibung des Sauerstoffes nur gerade genügenden Temperatur stets Spuren von freiem Chlor bemerkbar machen, so entwickeln explosive Chloratmischungen ohne Ausnahme Chlormengen, die mehrere Hundertstel der Gesammtmenge der entwickelten Gase erreichen zu können scheinen und jedenfalls hinreichen, um in das Metall eines Laufes schon nach wenigen Schüssen Löcher zu ätzen. In Berthollet's Zeit scheint diese Erfahrung gemacht worden zu sein, noch bevor man die mechanisch zerstörenden Einflüsse des neuen Pulvers auf die Gewehre erkannt hatte; und zwar machte man diese Erfahrung auch bei den nur verhältnismässig sehr wenig Chlorat enthaltenden Zündpillen, die sich in der Pfanne des Lepage'schen Schlosses unter dem Stoss eines im Pfannendeckel beweglich

angebrachten, durch den Schlag des Hahnes hinuntergetriebenen Stiftes entzündeten. Man ersetzte damals den Chloratsatz durch Knallsilber, und etwas später durch Knallquecksilber, welches jetzt (in den Zündhütchen) zur Entzündung aller Gewehrladungen dient; für diesen Zweck ist nach Lepage ein Chloratsatz nur noch von Dreyse und von dessen Nachahmern benutzt worden; im berühmten „Zündnadelgewehr" lag aber der durch den Stich der Nadel gezündete Chloratkörper zwischen Pulverladung und Geschoss (in einem aus Papiermasse gepressten Treibspiegel), so dass das schädliche Chlorgas bei jedem Schusse von den Pulvergasen sofort hinausgetrieben wurde. Ebenso werden auch aus dem offenen Zündloch eines Geschützes die im Verhältnis zu den Gasen der Treibladung wenigen Gase einer Chloratzündung hinausgetrieben, ohne Schaden anzurichten, so dass heute, insofern nicht auch schon die Geschütze Metallpatronen mit Knallquecksilber-Zündhütchen verfeuern, sondern die Zündung der verbrennlichen Kartuschen durch „Schlagröhren" („Brandel") erfolgt, Chloratmischungen den Zündsatz dieser Schlagröhren bilden. Die Schlagröhre ist dann oben meistens mit einem Holzpfropf verschlossen, durch den ein unten zackig aufgehauener Draht („Reiberdraht") in den Chloratsatz hinabreicht; wird sie in das Zündloch des Geschützes eingesetzt und der Reiberdraht seitwärts herausgerissen, so entzündet sich durch die Reibung der Chloratsatz und von ihm eine den unteren Teil der Schlagröhre füllende Pulverladung, deren Strahl dann in die Geschützladung hineinschlägt. —

Die von Dreyse benutzte Mischung von chlorsaurem Kali mit Schwefelantimon scheint nächst der mit rotem Phosphor von allen Chloratmischungen die durch Reibung, Stoss oder Schlag entzündlichste zu sein; etwa an dritter Stelle folgt dann die Mischung mit Schwefel. Berthollet, der zusammen mit Lavoisier ausgedehnte Untersuchungen über die beim Abbrennen verschiedener Stoffe mit Salpeter freiwerdenden Wärmemengen angestellt, und in Übereinstimmung mit den Beobachtungen Stahl's und Le Blond's gefunden, dass die Verbrennung des Schwefels weit weniger Wärme entwickelt, als die der Kohle, hatte wohl vornehmlich aus diesem Grunde schon bei den ersten Chloratpulverversuchen in Essonne weniger Schwefel, als für das gewöhnliche Pulver, anwenden lassen; später liess man in Chloratpulvern den Schwefel fast stets völlig fort. Mischungen von Kaliumchlorat mit anderen Stoffen, als die drei eben genannten, zeigen sehr wahrnehmbar geringere und untereinander verschiedene Grade von Empfindlichkeit und können, da Chloratpulver überhaupt keiner so innigen Mengung der Bestandteile, wie Salpeterpulver, und auch keiner Körnung bedürfen, um mit mehr als genügender Geschwindigkeit abzubrennen, in kleinen Mengen ohne Apparate leicht bereitet werden; so erklärt es sich

hauptsächlich, dass seit den ersten Versuchen Berthollet's und trotz deren schlimmem Ende die Nachricht, ein vollkommen gefahrlos herzustellendes Chloratpulver sei erfunden, zu den gewöhnlichsten Erscheinungen auf dem Gebiete des Pulverwesens gehörte; und da es an verbrennlichen Stoffen, die in explosive Mischungen eintreten können, sehr viel weniger fehlt, als an sauerstoffliefernden, so ist die Zahl der als Schiesspulver vorgeschlagenen Chloratmischungen eine sehr grosse. Sie hier aufzuzählen, würde ebenso zeitraubend, wie zwecklos sein: da wir die Entwickelung der rauchschwachen Pulver zu betrachten haben, dürfen wir uns nicht bei Produkten aufhalten, die nur unwesentliche Abänderungen anderer sind und nicht eine Bewegung, sondern einen Stillstand in der Erfindungsthätigkeit bezeichnen. Als Substanzen, die ausser der Kohle und dem Schwefel und einigen noch im besonderen zu erwähnenden als Bestandteile von Chloratpulvern empfohlen worden sind, seien hier Steinkohle, Kolophonium, Stärke, Reismehl, geraspelte Hölzer, Hexenmehl (Bärlappsamen, semen lycopodii), pulverisierte Galläpfel, Gerberlohe, Hollundermark genannt. Namentlich traten von Zeit zu Zeit Perioden ein, in denen, wie Bottée und Riffault sagen, „jedermann sich mit der Fabrikation von Chloratpulver beschäftigen wollte."

Viele Erörterungen, Versuche und Verbesserungsbestrebungen rief 1850 und in den folgenden Jahren die Empfehlung eines aus 2 Teilen chlorsaurem Kali, 1 Teil Zucker und 1 Teil Blutlaugensalz (Kaliumeisencyanür) bestehenden Pulvers durch Augendre hervor.

„Man pulverisiert" — sagt der Erfinder in Bd. XXX der Berichte der Pariser Akademie der Wissenschaften, S. 179—181 — „jede der drei Substanzen für sich allein und mischt sie dann durch Handarbeit untereinander. Will man nur einige Gramm zur Probe bereiten, so kann man sie in einem Agatmörser trocken zusammenreiben. Man hat selbst bei starkem Reiben nichts zu befürchten. Um aber grössere Mengen herzustellen, befeuchtet man das Gemisch mit 2 bis 3 % Wasser und stampft es in einem Bronzemörser mit einer Holzkeule, oder in einem Holzmörser mit einer Metallkeule. Ich habe lange Mörser und Keule von Bronze benutzt, ohne dass ein Unfall eingetreten wäre. Die Vermischung braucht nicht so innig zu sein, wie bei dem gewöhnlichen Pulver: eine Viertelstunde Stampfen genügt für kleinere Mengen. Man körnt, wie gewöhnlich, und trocknet an der Luft.

„Dieses Pulver entzündet sich, gekörnt oder in Mehlform, sehr leicht durch die Berührung mit einem rotglühenden oder brennenden Körper. Seine Flamme ist grösser, als die des gewöhnlichen Pulvers, der Rückstand gering. Frisch aus dem Mörser genommen, lässt es sich sehr gut anzünden, so dass man nicht zu befürchten braucht, dass es an der Luft verdirbt und schliesslich unentzündlich wird, wie das gewöhnliche Pulver. Um durch einen starken Schlag von Eisen auf Eisen zur Explosion zu kommen, muss es sehr trocken sein. Die

Reibung zwischen zwei polierten Körpern bringt diese Wirkung nie hervor; ebensowenig ein Schlag von Holz auf Holz oder Holz auf Metall.

„Die Vorzüge dieses Pulvers sind:

„1. Dass es aus Stoffen von durchaus bekannter und stets gleicher Zusammensetzung besteht, so dass man stets auf die gleiche Kraftentwickelung rechnen kann, wenn man einmal ein festes Mischungsverhältnis angenommen. 2. Dass diese Stoffe durch die Einwirkung trockener oder feuchter Luft nicht veränderlich sind, so dass man sie eine beliebige Zeit lang aufbewahren kann, was bei der Kohle, die man für das gewöhnliche Pulver verwendet, nicht möglich ist. 3. Dass die Fabrikation weniger Zeit erfordert, so dass man nötigenfalls einen festen Platz nur mit den drei Grundstoffen, in Pulverform und getrennt, versehen, und die Mischung erst bei Bedarf vornehmen könnte, was die Gefahren der gegenwärtigen grossen Pulvermagazine beseitigen würde. 4. Dass seine Kraft sehr gross ist, so dass mehr Schüsse in den Protzkästen der Artillerie Platz finden, die Sprengräume der Hohlgeschosse kleiner und die Wandungen stärker werden könnten u. s. w. 5. Dass es als Mehl dieselbe Kraft zeigt, wie im Korn, so dass man es für einige Verbrauchsarten herstellen könnte, indem man zuerst die Grundstoffe in staubfeines Pulver verwandelte und sie dann zusammen in eine sich langsam drehende lederne Trommel brächte. Ich will noch hinzusetzen, dass dieses Kaliumeisencyanür enthaltende Pulver durchaus nicht giftig ist; es ist einfach ein versüsstes Purgiermittel (!).

„Seine Nachteile sind:

„1. Dass es wegen seines Chloratgehalts eiserne Waffen angreift, so dass sich sein Gebrauch auf Bronzegeschütze und Hohlgeschosse beschränken würde.[1]) 2. Dass es sich viel leichter entzündet, als das gewöhnliche Pulver, wenn auch bedeutend schwerer, als die bisher vorgeschlagenen Pulver mit chlosaurem Kali.

„Ich werde noch einen Unfall erwähnen, der mir zugestossen ist, und der wichtige Schlüsse gestattet.

„Ich gebrauchte seit einiger Zeit auf der Jagd Chloratpulver, welches ich in einer alten Pulverflasche aufbewahrte. Als ich einmal an der Dosierung etwas ändern wollte, schüttete ich den Rest aus der Pulverflasche auf ein Blatt weisses Papier. Ich bemerkte inmitten meines Pulvers, welches weiss ist, einige Körner gewöhnlichen Schwarzpulvers; doch beachtete ich das für den Augenblick nicht weiter. Ich stampfte in einem thönernen in Brusthöhe stehenden Mörser zuerst eine andere Quantität Pulver, die nicht in der Pulverflasche gewesen war, und die Operation verlief glücklich, wie gewöhnlich; dann setzte ich das Pulver aus der Pulverflasche — etwa 60 Gramm — hinzu. Kaum hatte ich zweimal zugestossen, als mir eine Explosion, wie ein Kanonenschuss, den Kopf hintenüberwarf. Der Mörser war nicht zerbrochen; ich hatte aber Augenbrauen und

---

[1]) Alle Metalle werden, wie schon erwähnt, von Chloratpulvern chemisch angegriffen, da sich alle mit Chlor leicht verbinden; zum Laden von Hohlgeschossen aber können Chloratpulver nicht dienen, da solche Ladungen schon durch die Erschütterung des Geschosses im Geschütz explodieren würden. (Anm. d. Verf.)

Wimpern verloren und wusste zwei Tage lang nicht, ob ich das Augenlicht behalten.

„Dieser Vorfall zeigt klar, welcher Unterschied besteht zwischen Chloratmischungen mit Schwefel und mit Kohle und meiner Mischung. Im erstgenannten Falle befinden sich die verbrennlichen Stoffe in Freiheit und die geringste Reibung ruft eine Entzündung hervor; im zweiten befinden sie sich in Verbindungen, welche nur durch eine gewisse Gewalt zerstört werden können.

„Man muss also bei der Herstellung meines Pulvers die Dazwischenkunft von Kohlen- oder Schwefelteilchen und eine Vermischung mit gewöhnlichem Pulver bei der Möglichkeit einer Reibung sorgfältig vermeiden.“

J. J. Pohl fand, dass ein Mischungsverhältnis von 49 Teilen Kaliumchlorat, 28 Teilen Blutlaugensalz und 23 Teilen Zucker für ein vollkommenes Abbrennen noch günstiger ist, was dem theoretisch zu Erwartenden entspricht; wenn er aber (in Bd. XLI der Berichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse der k. Akademie zu Wien, S. 642) sagt: „. . . weitere grosse Vorteile bietet das weisse Pulver gegenüber dem schwarzen durch die so schwere Explosionsfähigkeit bei Druck und Schlag; nur der heftigste Schlag von Eisen auf Eisen bewirkt Explosion, dagegen kann es durch Reibung von Holz auf Metall, zwischen Steinen, Thonmassen etc. nicht dazu gebracht werden“, so ist das unrichtig; denn z. B. durch Reibung zwischen zwei Steinen ist es ein Leichtes, jeden Chloratsatz zu entzünden.

Dass sich im allgemeinen eine Mischung des Chlorats mit einem einfachen verbrennlichen Körper, insbesondere wenn dieser eine niedrige spezifische Wärme hat, also durch geringe mechanische Wirkung bedeutend erhitzt werden kann, wie der Phosphor, durch Reibung, Druck oder Schlag leichter entzünden wird, als eine mit Brennstoffen, die erst aus Verbindungen freigemacht werden müssen (wie z. B. die Kohle des Zuckers aus der Verbindung mit Wasser), welcher Idee Augendre nachging, ist zuzugeben; doch kommt hierbei auch auf den Härtegrad und die Gestalt der dem Chlorat beigemischten Teilchen viel an. Ein Zusatz von gestossenem Glas oder Schmirgel macht jeden Chloratsatz empfindlicher, da die Spitzen der harten, eckigen Körnchen bei einer mechanischen Einwirkung gewissermassen wie Zündnadeln wirken; am wenigsten empfindlich sind Chloratsätze, in denen ein fett- oder wachsartiger Stoff dem Chlorat beigemischt ist. Ein aus 367,5 Gewichtsteilen Kaliumchlorat, 168,3 Teilen Schwefelantimon, 18 Teilen Kohle und 46 Teilen Walrat bestehendes Pulver erfand im Jahre 1868 (nach der „Deutschen Industriezeitung“, S. 48) F. Hahn; das Neueste auf diesem Gebiete bilden wohl die im Deutschen Reiche unter No. 53420 und 57735 in den Jahren 1889 und 1890 E. v. Brauk patentierten Pulver aus chlorsaurem Kali, Tragant-

oder anderem Gummi und Karnaubawachs, auch mit Zusatz von Hexenmehl. Die Mischung wird vorgenommen, indem man das chlorsaure Kali und eventuell auch das Hexenmehl in ein Gemenge von geschmolzenem Karnaubawachs und in Essigsprit gelöstem Gummi einmengt. Mischungsverhältnisse sind: 110 Gewichtsteile chlorsaures Kali, 6 Teile Hexenmehl, 20 Teile Karnaubawachs und $1^1/_2$ Teil in 40 Teilen Essigsprit gelösten Gummi; 110 Teile chlorsaures Kali, 20 Teile Karnaubawachs und $1^1/_2$ Teil Gummi. Die 15 Minuten lang im Wasserbade gekochte und sorgfältig gemengte Masse wird auf einem Brett ausgebreitet, mit einem Wachstuch bedeckt und mit einer schweren Walze gewalzt, hierauf zerkleinert, getrocknet und gekörnt. Da das Karnaubawachs schon bei ca. 85° C. flüssig ist, das Kaliumchlorat aber erst bei ca. 350° sich zu zersetzen anfängt, ist diese Art der Mengung verhältnismässig ungefährlich, und die wachsartige Beschaffenheit des Pulvers vermindert auch die weiteren Gefahren, soweit das namentlich beim Körnen von Chloratpulver überhaupt möglich ist.

Neuerdings werden, wie bereits angedeutet, die Chloratpulver fast durchweg als rauchschwach oder gar als rauchlos empfohlen; sie können nur im Vergleich zum gewöhnlichen Schwarzpulver rauchschwächer sein und wie an Kraftentwickelung, so auch an Rauchschwäche nicht mit den modernen Nitrocellulosepulvern wetteifern, da stets etwa 60 % des Kaliumchlorats nach der Sauerstoff-Abgabe als bei gewöhnlicher Lufttemperatur festes Chlorkalium zurückbleiben. Noch andere Stoffe ausser Chlorkalium machen sich in Rauch und Rückstand natürlich da geltend, wo auch die durch den Sauerstoff des chlorsauren Kalis verbrannten Stoffe nicht nur Gase geben, wie dies beim jetzt wieder vielfach hergestellten „weissen Pulver“ Augendre's der Fall, oder wenn von einem an sich eines völligen Abbrennens fähigen Stoffe im Verhältnis zum Chlorat zu viel in der Komposition vorhanden ist. Im Jahre 1863 erfand Melland ein Verfahren zur gefahrlosen Herstellung von Chlorat-Explosivstoffen, welches gewissermassen das Gegenstück zum Sprengel'schen bildet: während Sprengel Chloratkörper mit der brennbaren Substanz tränkt, imprägniert Melland poröse brennbare Substanzen, insbesondere Fliesspapier, mit Chloratlösung. Zum Schiessen wird das Melland'sche Papierpulver — auch „Gaspulver“ genannt — derart hergestellt, dass man Papierstreifen mit der Chloratlösung tränkt, fest zusammenrollt, trocknet und mit einem gegen Feuchtigkeit schützenden, explosiblen Firnis aus 1 Teil Xyloidin und 3 Teilen Essigsäure von 1,04 specifischem Gewicht überzog. Selbst wenn nur eine höchstkonzentrierte Kaliumchlorat-Lösung zum Imprägnieren diente, würde das Papier wohl kaum die für eine vollständige Verbrennung notwendige Menge Chlorat aufnehmen; die Melland'sche Imprägnierungsflüssigkeit

enthält aber (nach Dingler's polytechnischem Journal, Bd. CLXXXI, S. 150) in 79 Teilen kochenden Wassers neben 9 Teilen Kaliumchlorat noch $4^1/_2$ T. Kalisalpeter, $3^1/_4$ T. Blutlaugensalz, $3^1/_4$ T. Holzkohle, $^1/_{21}$ T. Stärkemehl und $^1/_{16}$ T. chromsaures Kali.[1])

Aus dem vorigen Kapitel ist bekannt, wie der Wunsch nach einem kräftigeren und weniger Rauch entwickelnden Treibmittel im vergangenen Jahrzehnt zu einer eifrigen Wiederaufnahme früher mehr oder weniger aufgegebener Schiesspräparate führte. Auch das Melland'sche Schiesspapier wurde in dieser Periode wieder versucht und in der königl. belgischen Pulverfabrik in Wetteren in grösseren Mengen hergestellt. Über die belgischen Versuche sagt Hebler in einer Polemik gegen die Zeitung „Der Bund" (Bd. II, S. 55 seines schon genannten Werkes):

„2,9 g Papierpulver von Wetteren geben dem 14 g schweren Geschoss im 8 mm-Nagantgewehr eine gemessene Anfangsgeschwindigkeit von 574 m, bei einem Gasdruck von 3410 Atmosphären. . . ."

„Dieses sogenannte ‚Papierpulver' von Wetteren in Belgien ist . . . ganz und gar unbrauchbar, denn es giebt viel zu hohen Gasdruck, ziemlich starken Rauch und einen starken, hartkrustigen Rückstand."

Dass das Melland'sche Pulver viel feste Explosionsprodukte giebt, ist nach seiner Zusammensetzung unvermeidlich, und auch der von Hebler genannte Druck ist ein übermässig hoher, so dass das „Gaspulver" mit den Pulvern der neuesten Zeit nicht gut wetteifern kann; vergleicht man es aber nur mit älteren oder etwa gleichalterigen Präparaten, so fällt der Vergleich sehr zu seinem Gunsten aus. Solche Vergleichsergebnisse verdanken wir dem österreichischen Obersten v. Uchatius, der in der ersten Hälfte der sechziger Jahre mit seiner „Pulverprobe" sehr mannigfaltige und lehrreiche Versuche angestellt hat. Die Uchatius'sche Pulverprobe bestand im wesentlichen aus einem gusseisernen Gestell, in welches ein $10^3/_4$ Zoll langer gezogener Lauf von 0,54 Zoll Kaliber vertikal eingespannt wurde, dann aus einem oberhalb der Laufmündung wagerecht liegenden hebelartigen Rezeptor, der sich längs eines gezahnten Gradbogens nach aufwärts drehen konnte, endlich aus einem Kerbmeissel, welcher mit seinem Schafte den Laufverschluss bildete und mit der Schneide auf der Probeplatte auflag. Man lud den Lauf mit dem

---

[1]) Das chromsaure Kali giebt seinen Sauerstoff zu schwer ab und enthält zu wenig davon, um selbständig als Sauerstofflieferer in Explosivstoffen zu dienen; doch hat man es mehrfach als brisanzmildernden Zusatz benutzt. Es eignet sich seines hohen Gehalts an nicht dauernd gasförmig bleibende Produkte ergebenem Chrom und Kali wegen zu diesem Zweck nur wenig; selbst ein verwandtes Ammoniaksalz, das wir im Späteren noch wiederfinden werden, giebt einen starken Rückstand.

400 Gran schweren Blei-Spitzgeschoss und dem zu versuchenden Schiesspräparat von hinten, schloss den Ladungsraum mit dem Meisselschaft ab, spannte darauf den Lauf sammt Meissel senkrecht in das Gestell ein, setzte ein Zündhütchen auf einen am Lauf befindlichen Piston und feuerte vermittelst eines am Gestell befindlichen Hahnschlosses ab. Das Geschoss drang in den mit Blei gefütterten Kopf des Rezeptors, so dass sich dieser nach aufwärts drehte und in seiner höchsten Stellung durch eine an ihm angebrachte und in die Zähne des Gradbogens eingreifende Sperrklinke festgehalten wurde: die Anzahl der Grade, um welche der Rezeptor nach dem Schuss gedreht erschien, liess — durch Vergleich mit Leistungen von Geschossen, deren Geschwindigkeit auch mit genauer wirkenden Apparaten gemessen worden — einen annähernden Schluss auf die Geschossgeschwindigkeit zu. Gleichzeitig erhielt man unten auf der Probeplatte eine der Druckberechnung zur Grundlage dienende Einkerbung. Die folgende Tabelle zeigt (nach Rutzky a. a. O. S. 191) mit dieser Pulverprobe erzielte Ergebnisse. 1 Gran altes Wiener Gewicht ist gleich 0,06 Grammen, der alte Wiener Fuss 0,316 Metern.

Schiessmittel	Ladung in Granen	Anfangsgeschwindigkeit des 400 Gran schweren Spitzgeschosses Fuss	Bodendruck mittelst des Kerbemeissels gemessen in Atmosphären
Schiesspulver oder Gaspulver	19	639	448
Österreichisches Gewehrpulver	28	639	458
Französisches Jagdpulver	22	641	590
Augendre'sches Pulver (weisses Pulver)	$14^1/_4$	639	839
Explosives Stärkemehl	$7^3/_4$	637	924
Schultze'sches Pulver	$8^1/_2$	639	1024
Pyroxyl aus Holzpulver	$7^1/_4$	639	1195
„ „ Maisfasern	7	639	1365
„ „ Flachswolle	$6^1/_2$	639	1735
„ „ Baumwolle	$6^3/_4$	639	1820
Jagdpulver, versetzt mit 50% Knallquecksilber	$16^1/_4$	637	1451
Knallquecksilber	12	540	1800
„	16	565	2300
„	18	625	Lauf erhielt Eindrücke, der Meisselschaft gebogen.

Wie im Späteren ausführlich darzulegen sein wird, liefert, wenn zwei Ladungen von verschiedener Verbrennungsgeschwindigkeit auf einen Druckmesser nach Art des Rodman'schen und Noble'schen mit gleichem Maximaldruck einwirken, die schneller verbrennende stets eine grössere Deformation des Probekörpers; wenn also Uchatius bei der gewiss schneller

verbrennenden Chloratpapierladung annähernd denselben Druck und dieselbe Geschossgeschwindigkeit fand, wie bei der Ladung von gewöhnlichem österreichischen Gewehrpulver (dessen genaue Zusammensetzung aus der ersten Tabelle dieses Buches zu ersehen ist), so dürften thatsächlich für das Melland'sche Pulver eher günstigere Gasdrucksverhältnisse bei gleicher Arbeitsleistung anzunehmen sein. Freilich mussten nahezu zwei Drittel des Schwarzpulverladungs-Gewichts vom „Gaspulver" angewandt werden, um die gleiche Arbeitsleistung zu erzielen. Der Vergleich zwischen Pulvern, die ausschliesslich einerseits Salpeter, andererseits Kaliumchlorat und in beiden Fällen denselben verbrennlichen Stoff, für vollständige Verbrennung dosiert, enthalten, stellt sich für die Chloratpulver günstiger: ein Pulver aus 872 g Kaliumchlorat und 128 g Kohle (Kohlenstoff) liefert 1092 Calorieen aus dem Kilogramm, gegen die bereits bekannte Zahl 786 des analogen Salpeterpulvers; doch sind solche Chloratpulver stets noch brisanter, als das von Augendre, welches in der Uchatius'schen Probe im Vergleich zum „Gaspulver" nahezu den doppelten Maximaldruck bei gleicher Geschossgeschwindigkeit ergab. — Für den Gebrauch in Jagdwaffen, die gegen hohe Gasdrucke bedeutend weniger widerstandsfähig zu sein pflegen, als Kriegswaffen, wird man stets am besten thun, alle Chloratpulver, — die sich sämmtlich an ihrem Entzündetwerden durch konzentrierte Schwefelsäure leicht erkennen lassen —, zurückzuweisen; bei schnell und ohne fortwährende Beobachtung der Einwirkungen auf die Waffe fortgesetztem Schiessen (z. B. auf der Treibjagd) mit solchen Pulvern wird die Gefahr einer Lauf- oder Verschlusssprengung sehr dringend, und vor der chemischen Zerstörung durch die chlorhaltigen Gase schützt selbst die sorgfältigste Reinigung nach dem Schiessen die Waffen nicht.

Vergeblich waren auch stets Versuche, das vom Chloratpulver entwickelte freie Chlor durch Beimischung von Stoffen, die sich mit ihm leichter verbinden, als die zur Verfertigung von Waffen dienenden Metalle, z. B. von fein zerteiltem Zink (das überdies in der Pulvermischung bald oxydierte) oder Schwefelmetallen, deren Schwefel für den Sauerstoff und deren Metall für das Chlor bestimmt war, unschädlich zu machen. Die erwartete Absorption trat gar nicht oder nicht vollständig genug ein, und die beigemischten Stoffe vermehrten den Rückstand und den Rauch.

Die Chlorentwickelung würde natürlich noch weit lästiger werden, wenn man, um dauernde vollständige Vergasung zu erzielen, eine Chlorsauerstoffsäure nicht in Verbindung mit Kalium oder einem anderen Metall, welches die Hauptmasse des Chlors zurückhält, sondern in geeigneter Verbindung mit Wasserstoff und Stickstoff (Ammonium) oder stickstofflosen organischen Substanzen verwendete. Die Chlorsäure könnte hierfür nicht in Betracht kommen, da sich das Ammoniumchlorat in trockenem

Zustande sofort von selbst zersetzt (Mitscherlich in Poggendorff's Annalen Bd. LII S. 85) und organische Verbindungen der Chlorsäure bisher wenigstens nicht darstellbar gewesen sind; das überchlorsaure Ammoniaksalz (Mitscherlich, Pogg. Ann. Bd. XXV S. 300) scheint aber beständiger zu sein, und die Überchlorsäure bildet nach Berthelot (a. a. O. Bd. II S. 263) eine Reihe von Äthern, die stark explosiv sind, jedoch bis jetzt eine praktische Verwendung noch nicht gefunden haben: für Sprengzwecke wird sich eine solche bei billiger Herstellung der Überchlorsäure durch Elektrolyse von Salzsäure unter Ausnutzung von Wasserkräften für den Betrieb von Dynamomaschinen vielleicht in der Zukunft als aussichtsreich erweisen; für Schiesszwecke werden auch diese Chlorsauerstoff-Explosivstoffe denjenigen mit Stickstoffsauerstoff-Basis wohl keinen gefährlichen Wettbewerb bereiten.

III.

Ammoniumnitratpulver.

Von den alten Brandsätzen aus Harz, Pech, Schwefel, Kohle, Naphta u. ä. nehmen die Explosivstoffe ihren Ursprung. Den Fehler dieser alten Brandsätze, durch Luftabschluss (Bedecken mit Erde o. ä.) löschbar zu sein, beseitigten um 1200 n. Chr. die Chinesen durch Beimischung des in Ostasien von der Natur in grosser Reinheit gebotenen Salpeters und bereiteten so die ersten Explosivstoffe.[1]) Seitdem hat die Chemie auch solche Explosivstoffe herzustellen gelehrt, deren Explosion keine Verbrennung ist (so besteht z. B. der Chlorstickstoff nur aus Chlor und aus Stickstoff und zerfällt bei der Explosion einfach in diese beiden Elementarbestandteile); die als praktisch brauchbar befundenen Explosivstoffe aber haben bis heute durchweg den Charakter brennbarer Stoffe mit eingeschlossenem Sauerstoffvorrat beibehalten, und zwar findet sich dieser Sauerstoffvorrat nach wie vor an Stickstoff gebunden. Mit diesem Element ergiebt der Sauerstoff in ganz hervorragendem Masse Verbindungen, die beständig genug sind, um gefahrlos aufbewahrt und gehandhabt zu werden, und doch den Sauerstoff leicht genug abgeben, wenn die Zersetzung absichtlich herbeigeführt wird. Nur die Chlorverbindungen des Sauerstoffs haben, wie aus dem vorigen Abschnitt bekannt, den Stickstoffverbindungen einigen Wettbewerb bereitet, und es ist auch kaum anzunehmen, dass die letzteren ihre das Gebiet der Explosivstoffe beherrschende Stellung in absehbarer Zeit einbüssen könnten.

Wäre es der Explosivstoff-Technik möglich, sich anstatt sauerstoffliefernder Verbindungen des reinen Sauerstoffs zu bedienen und ihn auf reinen Wasserstoff einwirken zu lassen, mit dem er bekanntlich das Maximum an Verbrennungswärme liefert, so wäre auf diesem Wege das Höchste an explosiver Kraftentwickelung zu erreichen, was durch Kombinationen der

---

[1]) Vgl. den I. Teil der Gesch. der Explosivstoffe, Kap. II.

bisher bekannten Elemente überhaupt zu erreichen ist. Leider sind die beiden genannten Stoffe unter gewöhnlichen und praktisch aufrecht zu erhaltenden Umständen Gase, und schliessen als solche schon durch ihr bedeutendes Volumen die angedeutete Verwendung aus, so dass man sich wohl wenigstens noch lange damit wird begnügen müssen, anstatt des reinen Sauerstoffs und Wasserstoffs ihre Verbindungen mit Stickstoff und Kohle zu verwenden. Weitere Elemente mit aufzunehmen kann insbesondere aus ökonomischen Gründen unter Umständen empfehlenswert erscheinen; wo aber eine vollständige und dauernde Verwandlung des Explosivstoffes in Gase im Vordergrunde der Bedürfnisse steht, wie bei den modernen Kriegs-Schiesspräparaten, sind andere Elemente, als Sauerstoff, Wasserstoff, Kohlenstoff und Stickstoff im Schiesspulver als der heutigen Lage der Wissenschaft und Technik nach unnützer und schädlicher Ballast zu betrachten. Auch unter dieser Einschränkung bleibt, da die Mengen- und Gruppierungsverhältnisse der genannten vier Elemente sehr verschieden und ihre Verbindung zum Explosivstoff eine chemische, eine mechanische oder eine unter Benutzung beider Wege erreichte sein kann, die Zahl der möglichen Kombinationen eine sehr grosse; sie wird aber schon bedeutend eingeschränkt, wenn man an ein brauchbares Schiesspräparat die berechtigte Anforderung stellt, dass es sich als ein fester Körper darstelle: dann werden die sauerstoffliefernden Stickstoffsauerstoff-Gruppen stets mit zu verbrennenden Substanzen chemisch verbunden sein müssen, da sie im freien Zustande gasförmig oder flüssig sind; und noch enger wird der Kreis des Statthaften, wenn man berücksichtigt, dass insbesondere Kriegs-Schiesspulver — wie übrigens auch Kriegs-Sprengstoffe — nur in den seltensten Fällen erst dann angefertigt werden können, wenn man sie zu verbrauchen im Begriff ist, dass sie sich aufbewahren lassen und vor allem der praktisch nie dauernd auszuschliessenden Berührung mit der atmosphärischen Luft widerstehen müssen: es werden dann im wesentlichen nur Verbindungen mit organischen Stoffen übrig bleiben, da von den explosiven Verbindungen des Ammoniums (NH_4) mit Stickstoff-Sauerstoff die eine, das salpetrigsaure Ammonium (NH_4NO_2), sich schon bei etwa $+ 50^0$ C. durch die Wärme zersetzt, die andere, das salpetersaure Ammonium (NH_4NO_3) an der Luft durch Feuchtigkeitsanziehung zerfliesst.

Nur die letztgenannte, das Ammoniumnitrat, welches nach Berthelot (a. a. O. Bd. II S. 183) bei seiner Zersetzung in Stickstoff (35 $^0/_0$ des Gewichts) Wasser (45 $^0/_0$) ued freien Sauerstoff (20 $^0/_0$) 421,25 Calorieen aus dem Kilogramm entwickelt, ist zur Herstellung von Explosivstoffen benutzt worden, und zwar scheint die zerfliessliche Beschaffenheit dieses Salzes noch lange, nachdem es bekannt geworden, selbst von Versuchen der

Pulverbereitung mit ihm abgeschreckt zu haben. Glauber, nach dem der Ammoniaksalpeter noch lange „sal ammoniacum secretum Glauberi“ hiess, macht in seiner „Pharmacopoea Spagyrica (1667) und in den Nachträgen zu ihr mehrfach darauf aufmerksam, dass der Ammoniaksalpeter (den er aus Salpetersäure und Salmiakgeist herstellte) für sich allein in einem Tiegel erhitzt im Gegensatz zum „gemeinen“ Salpeter in Flammen aufgehe (daher der ebenfalls noch lange erhaltene Name „nitrum flammans“) und dabei keinen Rückstand hinterlasse; doch ist anscheinend erst während der französischen Revolution ein Versuch gemacht worden, diese Eigenschaft für die Pulverfabrikation zu verwerten. Er blieb ganz erfolglos, und weitere Schritte auf demselben Wege haben, wie hier gleich vorausgeschickt sein mag, ebenso wenig zur Herstellung eines einigermassen brauchbaren Ammoniakpulvers geführt, doch haben sie mehrfach andere Gebiete der Explosivstoff-Technik bereichert und sind auch noch heute nicht völlig aufgegeben, so dass ihr Verlauf hier wenigstens zusammenfassend dargestellt werden muss.

Über jenen ältesten Versuch berichten die schon zitierten Bottée und Riffault:

„Von allen salpetersauren Salzen ist das salpetersaure Kali das einzige, das man bisher zur Fabrikation des Schiesspulvers angewandt hat; und wirklich ist es auch dasjenige, was am leichtesten zu erhalten und am wenigsten kostbar ist, und es scheint, die Natur habe uns damit in so bedeutender Menge versorgen wollen, dass wir es uns immer genugsam verschaffen können, unsere Bedürfnisse mögen auch noch so gross sein.

„Man hat Schiesspulver mit salpetersaurem Natron gemacht, und gefunden, dass es sich zwar entzündet, allein langsam abbrennt, und eine Flamme von gelber Färbung und ohne Lebhaftigkeit erzeugt.

„Das salpetersaure Ammonium scheint mehr, als die beiden anderen salpetersauren Neutralsalze, einer lebhaften Verpuffung fähig zu sein, und es scheint besonders den Vorteil einer vollständigen Zersetzung zu gewähren, ohne irgend einen Rückstand zu lassen. Jedoch sehen wir nicht, dass man mit Anwendung dieses Salzes bei der Fabrikation des Schiesspulvers einen Versuch gemacht hätte; wir haben es kürzlich versucht. Herr Robin, dem wir zu diesem Ende ungefähr drei Pfund davon geschickt haben, hat zu Essonne einen Pulversatz damit nach dem gegenwärtig vorgezogenen Mischungsverhältnisse von 0,750 Salpeter, 0,125 Schwefel und 0,125 Kohle gemacht. Nachdem er dieses Gemenge mit dem salpetersaurem Ammonium mit etwa 13 Lot Wasser angenetzt hatte, unterwarf er es der Einwirkung einer Stampfe. Herr Robin bemerkte, dass so wie das Stampfen statt hatte, die Masse das Wasser von sich liess, so dass sie bald einem Schlamme glich, und nicht mehr Konsistenz annehmen konnte. Er liess sie hierauf aus dem Stampfloche nehmen, um sie an der Sonne auszubreiten. Nachdem sie eine gewisse Zeit der Sonne ausgesetzt

gewesen, schien der Teig gehörig getrocknet; er wurde in das Stampfloch zurückgebracht; die Einwirkung der Stampfe trieb aber von neuem Wasser hervor, und die Masse musste abermals an der Sonne getrocknet werden. Nachdem sie nun zum zweiten Male in das Stampfloch gebracht worden war, wurde sie durch das Stampfen in kurzer Zeit abermals etwas feucht; bald aber formte sie sich zu einem Teige und die Masse schien nach Verlauf von zwei Stunden viel Konsistenz zu haben. Zu Kriegsschiesspulver gekörnt, gab sie viel Körner, welche jedoch noch ein wenig weich schienen, so wie auch das Reiben der Scheiben etwas Feuchtigkeit auspresste. Das Korn war, nachdem man es ungefähr sechs Stunden der Sonne ausgesetzt hatte, vollkommen trocken. Während des Trocknens hatten die Körner Neigung, sich aneinander zu hängen; doch wurde dies durch die Vorsicht vermieden, welche man hatte, das Schiesspulver fleissig umzuwenden, um die Oberflächen zu erneuern. Dieses Schiesspulver wurde mit dem Mörser der Fabrik, in Vergleich gegen das gewöhnliche Kriegsschiesspulver, bei einer Ladung von 6 Lot Pulver untersucht, aber die Kugel wurde nicht einmal aus dem Mörser gestossen. Das mit salpetersaurem Ammonium bereitete Schiesspulver entzündete sich überaus langsam; es brannte aus dem Zündloche heraus, indem es einen dicken grünlichen Rauch ausstiess, der rund um die Kugel wirbelte und aus dem Mörser langsam herausdrang. Das Innere und die Kammer des Mörsers fand man mit einer Art von schwarzem und stinkendem Schlamme erfüllt, so wie mit Wassertropfen, welche ohne Zweifel von der Zersetzung des Ammoniums herrührten. Ein Teil dieses Schiesspulvers wurde als fein gekörnt, um mit der kleinen Pulverprobe von Regnier probiert zu werden, aber es konnte nicht anders, als mittelst eines Zündkrautes von gewöhnlichem superfeinen Schiesspulver entzündet werden, und alsdann brannte es langsam aus dem Zündloche heraus, ohne den Stöpsel der Pulverprobe in die Höhe heben zu können.[1])

„Herr Robin hat noch verschiedene andere Versuche über das Stampfen dieses Salzes mit verschiedenen Verhältnissen von Schwefel und Kohle angestellt, und hat aus allem allgemeine Resultate gezogen, welche wir hier ebenso wiedergeben zu müssen glauben, wie er selbst sie aufgesetzt hat.

„1. Das salpetersaure Ammonium zerfliesst an der Luft und befeuchtet wegen dieser Eigenschaft das Gemenge von Schwefel und Kohle, welchem man es einverleibt, bedeutend.

„2. Jedoch bindet sich dies Gemenge ohne Zusatz von Wasser nicht zu einer Masse.

„3. Dieses Wasser muss in sehr kleiner Menge, etwa 2 bis 3 Procent, hinzugesetzt werden.

„4. Das Stampfen vermehrt, auf eine merkwürdige Weise, die Feuchtigkeit des Gemenges, so dass es dasselbe in eine schlammige Masse verwandelt.

---

[1]) Diese Probe unterschied sich von der in Abb. 1 abgebildeten in der Hauptsache dadurch, dass der Deckel des Pulverbehälters nicht an einem Zahnrade, sondern unmittelbar an einer Feder angebracht war. (Anm. d. Verf.)

„5. Doch bringt die Sonnenhitze diese Wirkung nicht hervor, indem sie das Gemenge trocknet, wenn es ihr ausgesetzt ist.

„6. Wenn dies Gemenge der Einwirkung des Feuers ausgesetzt wird, so zerfliesst das Salz.

„7. Die Neigung dieses Salzes, Feuchtigkeit einzusaugen, ist so gross, dass man nach jeder Operation sowohl die Masse, als das Korn trocknen musste.

„8. Das Mengen dieses Salzes mit Kohle und Schwefel, sowohl durch einfaches Reiben, als durch Stampfen und Körnen,[1] giebt ein Schiesspulver, welches sich, selbst auf glühenden Kohlen, schwer entzündet.

„9. Dies Schiesspulver explodiert nicht, wenn es sich entzündet hat; aber es fliesst laugsam auseinander, wobei es viel Rauch und sehr wenig Funken giebt.

„10. Es kann den fortzutreibenden Körper nicht aus dem damit geladenen Geschütze hinaustreiben und nicht einmal die Feder einer Handprobe bewegen, so dass es unmöglich scheint, sich seiner zur Fabrikation des Schiesspulvers zu bedienen.“

Die Art, wie die eben vorgeführten Versuche angestellt wurden, zeigt, wie schwer man sich selbst in jener „revolutionären“ Zeit von den seit Jahrhunderten feststehenden Grundregeln der Pulverfabrikation zu trennen vermochte: man war gewohnt, den Pulversatz unter Zusatz von Wasser zu stampfen und zu körnen, und verfuhr ebenso auch bei Salpeterarten, die vor dem Zutritt selbst des in der Atmosphäre enthaltenen Wassers sorgfältig geschützt werden müssen. Eine geringe Menge Wasser, einem Ammoniaksalpeter enthaltenden Satze beigemischt, zieht sich in die Spalten der Krystalle des Salzes und verschwindet für den Augenblick; nichtsdestoweniger bleibt der Satz unexplosiv, und beim Drücken oder Erwärmen der Masse wird das Wasser auch wieder sichtbar. Selbst wenn jedoch das Ammoniumnitrat vor dem Stampfen scharf getrocknet oder geschmolzen worden wäre (es schmilzt bei etwas über 100° C.), und wenn man anstatt des Wassers etwa Alkohol oder Terpentinöl zum Anfeuchten benutzt hätte, — was man in neuester Zeit bei ähnlichen Versuchen stets gethan —, und wenn es geglückt wäre, das so gewonnene Pulver bis zur Verarbeitung zur Munition wasserfrei zu erhalten, so wäre es in den Kartuschsäcken für die Geschütze und in den papierenen Gewehrpatronen bald zerflossen. Die nächsten Versuche mit Ammoniumnitrat-Pulvern erfolgten denn auch erst, nachdem in den sechziger Jahren die im ersten Kapitel geschilderten Vervollkommnungen im Pulverwesen Platz gegriffen hatten und die metallene Patronenhülse erfunden worden war.

Selbst den ohne Zusatz eines besonderen Bindemittels und ohne Schmelzung des Schwefels in Formen gepressten Pulverkörpern verschafft

ihre grössere Dichte und die geringere Oberfläche, welche sie atmosphärischen Einflüssen darbieten, gleichen Mengen chemisch gleichen, aber nur in der älteren Art verdichteten und gekörnten Pulvers gegenüber den Vorzug einer geringeren Feuchtigkeitsanziehung; noch feuchtigkeitsbeständiger sind aber diejenigen, in welchen eine während des Pressens flüssig gewesene, wasserbeständige Substanz die Salzkörnchen umhüllt, und unter diesen wieder am feuchtigkeitsbeständigsten die, welche durch Schmelzen plastisch gemacht worden sind. Dass sich z. B. das Innere eines unter Befeuchtung mit Kollodium gepressten Pulverkörpers durch Abdunstenlassen des Äthers leicht trocknen lässt, zeigt zugleich, dass keine luftdichte Absperrung zwischen dem Inneren und der Oberfläche vorhanden ist, und lässt vermuten, dass die Wasserdämpfe der Atmosphäre ihren Weg da hinein finden werden, wo ihn die Ätherdämpfe hinaus gefunden haben. Ein Versuch bestätigt die Annahme: ein mit Kollodium aus gewöhnlichem Kalisalpeterpulver gepresster Pulverkörper lässt sich durch die Einwirkung von Wasserdampf unschwer zum Zerfliessen bringen, so dass nur eine Art von Schwamm aus Kollodium zurückbleibt; ein in der gleichen Weise gepresstes Pulver mit Natron- oder Ammoniaksalpeter aber wird schon an der Luft von gewöhnlichem Feuchtigkeitsgehalt in einigen Tagen feucht. Die (namentlich von Craig geförderten) Bestrebungen, die hygroskopischen Salpetersäure-Salze durch die Anwendung von Kollodium und anderen bindekräftigen Äther- und Alkoholauflösungen für die Pulverfabrikation nutzbar zu machen, hatten daher keinen Erfolg. Besser waren schon die Erfahrungen mit geschmolzenen Bindemitteln. Pulver mit salpetersaurem Natron lassen sich zum Pressen gefahrlos bis zum Schmelzpunkt des Schwefels erhitzen, und da dieses Salz seit der Erschliessung der chilenischen Gruben (1828) viel billiger geworden ist, als der Kalisalpeter, so sind in der bezeichneten Art Pulver hergestellt worden, die zwar eine für Schiesspräparate genügende Zuverlässigkeit in der Aufbewahrung nicht besassen, bei Sprengungen aber, die sonst mit gewöhnlichem Schwarzpulver erfolgten, erhebliche Ersparnisse erzielen liessen. Das Ammoniumnitrat lässt sich zwar mit Schwefel allein gefahrlos zusammenschmelzen; das Produkt ist aber nur wenig explosiv; und ein Erhitzen des Salzes mit Kohle oder einem kohlenhaltigen Stoff auf den gleichen Temperaturgrad ruft stets eine Explosion hervor. Will man also das Pressen mit geschmolzenem Bindemittel auf Ammoniakpulver anwenden, so muss ein leichter schmelzbares Bindemittel, als der Schwefel angewandt werden. Dahin gehende Vorschläge machte u. a. der bereits genannte Erfinder H. Sprengel; doch ist z. B. eine aus Paraffin und Ammoniumnitrat zusammengeschmolzene Masse zu schwer zu entzünden, um praktisch als Explosivstoff dienen zu können. Die ersten Ammoniumnitrat-Explosivstoffe,

welche eine ausgedehntere praktische Anwendung gefunden haben, stellte vom Jahre 1885 an P. A. Favier in Paris her, indem er das Salz mit **auch an sich etwas explosiven** Stoffen von niedrigem Schmelzpunkt erhitzte und presste. Besonders dienten ihm hierzu die Nitrationsprodukte des Naphtalins ($C_{10}H_8$). Dieses Produkt der Teerindustrie wurde zuerst durch Laurent im Jahre 1835 in drei Nitrationsstufen übergeführt (Annales de Chimie et de Physique, Bd. LIX p. 376); später wurden mehrere Isomeren dieser und ein Tetranitronaphtalin entdeckt. Favier verwendete nach der Deutschen Reichs-Patentschrift Nr. 31411 zuerst das am leichtesten schmelzbare aller Nitrationsprodukte des Naphtalins, das bei $+ 43^0$ C.[1]) schmelzende Laurent'sche Mononitronaphtalin ($C_{10}H_7[NO_2]$); im Jahre 1891 wurden (nach dem „Génie civil", S. 241) auch Dinitronaphtalin und Trinitronaphtalin, mit Schmelzpunkten von ca. 120—220^0 zur Herstellung der Favier'schen „Ammonite" verwendet; jedoch so, dass das pulverisierte und (durch Passieren einer von aussen mit Dampf geheizten Röhre unter der Einwirkung einer archimedischen Schraube) scharf getrocknete Ammoniaksalz nur mit dem besonders geschmolzenen Di- oder Trinitronaphtalin besprengt wird. Mit den Favier'schen Ammoniten eng verwandt ist das in Schweden als Sprengstoff eingeführte, aus 4 Teilen Ammoniumnitrat und 1 Teil Dinitrobenzol (Schmelzpunkt: 86^0) bestehende „Bellit", welches sich seiner grossen Unempfindlichkeit halber sehr zu Hohlgeschossladungen eignet und sich in solchen auch gut halten soll.

Für die Verwendung als kriegsbrauchbare Schiesspräparate wären die Favier'schen und verwandten Explosivstoffe — selbst von ihrer schweren Entzündlichkeit abgesehen und alle sonst erforderlichen Eigenschaften vorausgesetzt — ihrer zu geringen Haltbarkeit wegen nicht geeignet. Anscheinend müsste es nicht schwer sein, in den jetzt seit langem üblichen metallenen Patronenhülsen auch hygroskopische Pulver unverändert aufzubewahren; doch hat die Erfahrung oft, und in neuerer Zeit bei der Erprobung eines in der Schweiz hergestellten, anstatt eines Teils des Salpeters Ammoniumnitrat enthaltenden Pulvers das Gegenteil gelehrt. Mit diesem Pulver machte im Jahre 1887 unter Anwendung des bereits erwähnten Kompressionsverfahrens Prof. Hebler Versuche. Die Zündkanäle wurden, wenn sie vorn 2,2 mm, hinten 1,6 mm weit ausfallen sollten, vermittelst durch die Pressstempel hindurchgehender und vor der Pressung in das noch lose Pulver eingebohrter Nadeln ausgespart; für Zündkanäle von 5 mm vorderer und 3,6 mm hinterer Weite konnten in einfacherer Weise fest an den Stempeln angebrachte, dornartige Ansätze benutzt werden.

---

[1]) Diesen wohl etwas zu niedrigen Schmelzpunkt nennt auch Wurtz im „Dictionnaire de Chimie"; Ladenburg (Handwörterbuch der Chemie) giebt 58,5^0 an.

Abb. 13 zeigt den Durchschnitt einer Patrone der zweitgenannten Art in natürlicher Grösse. Mit dem engen Zündkanal erhielt Prof. Hebler (nach Bd. II S. 4 seines schon genannten Buches) Geschossgeschwindigkeiten von 600 bis 640 m bei 2800 bis 3400 Atmosphären. Eine Messung in Thun ergab als Mittel aus 12 Schüssen mit je 4 g Kali-Ammoniakpulver und 14 g schweren Geschossen 25 m vor der Laufmündung eine Geschwindigkeit von 628 m; der Gasdruck betrug 3150 Atmosphären. Mit dem weiten Zündkanal (also grösserem anfänglichen Verbrennungsraume) erhielt man weniger Anfangsgeschwindigkeit, aber auch weniger Gasdruck; es ergab sich z. B. unter sonst den eben genannten entsprechenden Umständen eine Geschwindigkeit von 581 m bei einem Gasdruck von 2750 Atmosphären. Prof. Hebler bezeichnet diese Ziffern mit Recht als sehr günstige (wie auch in gleicher Zeit die ballistischen Eigenschaften eines von Gaens in Hamburg erfundenen und von den rheinisch-westfälischen Pulverfabriken unter dem Namen „Pulver C/86“ in den



Abb. 13. Patrone nach Hebler.

Handel gebrachten, 48 Teile Salpeter, 38 T. Ammoniumnitrat und 14 T. Kohle enthaltenden rauchschwachen Pulvers, welches in einer Krupp'schen 15 cm-Kanone bei 14 kg Ladung der 51,25 kg schweren Granate bei 2490 Atm. Gasdruck 617 m Anfangsgeschwindigkeit oder 999 mt lebendige Kraft gab, während bei 17 kg braunen prismatischen Pulvers die entsprechenden Zahlen 2205 Atm. und 540,5 m oder 763 mt waren, viel Anerkennung fanden):

„Leider war aber, beim komprimierten Pulverkörper, sowohl beim engen, als auch beim weiten Zündkanal, die Verbrennung niemals eine vollständige und gleichmässige, was zur Folge hatte, dass die Anfangsgeschwindigkeit meist ziemlich bedeutend variierte, gewöhnlich 20 bis 30 Meter; auch zeigte sich bald, dass alle diese Sorten des Kali-Ammoniakpulvers ganz ausserordentlich hygroskopisch waren, so dass man dieselben nicht, wie gewöhnliches Schwarzpulver, offen aufbewahren konnte; dieser Umstand für sich allein hätte schon die Verwendbarkeit des Kali-Ammoniakpulvers mindestens sehr in Frage gestellt; es kam aber noch hinzu, dass dieses Pulver die Patronenhülsen angriff, so dass dieselben schon nach ziemlich kurzer Zeit teilweise durchgefressen waren; auch griff der Rückstand dieses Pulvers den Gewehrlauf und alles, wo er sich ansetzen konnte, sehr stark an, so dass die Reinigung des Gewehres nach dem Schiessen kaum sorgfältig genug vorgenommen werden konnte, um dem Verrosten der Waffe vorzubeugen.

„Diese Übelstände zeigten sich denn auch bei den offiziellen Versuchen, welche bald in den meisten Ländern mit meiner neuen Munition vorgenommen wurden (dabei wurde stets der enge Zündkanal angewendet), und ergaben die Notwendigkeit, dieses Pulver zu verlassen, und entweder wieder gewöhnliches Schwarzpulver zu verwenden, d. h. sich mit bedeutend weniger Geschossgeschwindigkeit zu begnügen, — oder aber die Herstellung eines besseren Präparates anzustreben. — Die Rauchentwickelung beim Kali-Ammoniakpulver war schon ziemlich geringer — etwa halb so stark — als beim gewöhnlichen Schwarzpulver. Es lag also der Gedanke nahe, ob es nicht möglich wäre, ein ganz oder beinahe ganz rauchfreies Pulver herzustellen.

„In dieser Richtung gingen die Franzosen voran und erzeugten (schon von 1886 an) ein beinahe rauchfreies Präparat, welches den Anforderungen in jeder Richtung so ziemlich entsprach."

Dieses Pulver hat die Ammoniumnitrat-Schiesspräparate wohl endgiltig beseitigt und auch den älteren durch Nitration organischer Stoffe hergestellten, die Ammoniakpulver im Durchschnitt weit übertreffenden Schiesspulvern bald den Rang abgelaufen.

IV.

Pikratpulver.

Der im II. Abschnitt erwähnte, um das Jahr 1400 durch Nitration eines Teeröles hergestellte Explosivstoff geriet, wahrscheinlich, weil er als flüssig unbequem zu handhaben, bei ungenügender Reinigung der Selbstzersetzung unterworfen und der Erhaltung der Waffen nicht günstig war, bald in Vergessenheit; um die Mitte des XVIII. Jahrhunderts war er selbst den hervorragendsten Chemikern nicht bekannt. Dass es aber die Salpetersäure, der „Salpetergeist" ist, dem der Salpeter seine explosionserregenden Eigenschaften verdankt, dieses Bewusstsein erhielt sich und wurde den Chemikern oft in nur allzu eindringlicher Weise durch den Zufall in Erinnerung gebracht.

So führt z. B. der Verfasser des Artikels „Salpeter" im 1742 erschienenen XXXIII. Bande des von Johann Heinrich Zedler in Leipzig herausgegebenen grossen „Universal-Lexicons aller Wissenschaften und Künste" des weiten aus, dass „das eigentlich sogenannte salpetrigte Wesen, welches dieses Salz vor allen andern in der Welt befindlichen Saltzen besonders kennbar machet" durch die Säure verursacht werde, und führt dafür in erster Linie folgende Gründe an (p. 1148—1150):

„1. Wenn man solche vom Salpeter abgesonderte blosse Säure oder den sogenannten Salpetergeist nimmt, solchen vom neuen mit einem fixen alkalischen Saltze sättiget, davon etwas abrauchen lässet, und alsdann zum Anschüssen hinstellet, so bekommet man seinen ordentlichen vollkommenen Salpeter wieder, den man insgemein Nitrum regeneratum, wieder hergestellten Salpeter zu nennen pfleget; dieser entzündet sich wieder mit andern brennbaren Sachen, ja er verrichtet alles, und hat alle Eigenschaften, wie der vorige Salpeter. . . . Ausser diesem siehet man es auch, wenn 2. mit dem Salpetergeiste und einem urinösen Geiste, oder einem flüchtigen alkalischen Saltze, ein brennendes Salmiac[1]) gemachet wird. 3. Erhellet es offenbar daraus, wenn in einem Salpetergeiste

[1] Ammoniumnitrat. (Anm. d. Verf.)

etwas geraspeltes Hirschhorn, Helfenbein und dergleichen aufgelöset, oder aber der Salpetergeist auch nur über diese Dinge abgezogen, ingleichen, wenn im Salpetergeiste Bley aufgelöset, und die Auflösung zur Trockene abgerauchet wird: Dieweil es sich zuletzt entzündet und gewaltig verpuffet, oder schläget, als wenn völliger Salpeter mit andern brennbaren Dingen vermischet, oder die Vermischung des Knallpulvers[1]) darzu gekommen wäre: Welche Experimente insgesammt behaupten, dass alles salpetrigte Wesen zusammen in der Säure lieget: Und hat man sich wohl in Acht zu nehmen: dass, wenn der Salpetergeist mit brennbaren Dingen abgezogen wird, insonderheit, wenn er zur Trockene inspissiret oder ausgetrocknet werden soll, man keinen Schaden verursachet, oder sich selbst beschädiget."

Das Explosive in dem Rückstande, welchen man beim Einkochen von geraspeltem Horn, Elfenbein, oder sonstiger mehr oder weniger reinen Epidermose erhält, ist der Hauptsache nach Pikrinsäure; sie war also bereits bekannt, und als explosiv bekannt, als Woulfe, dem ihre Erfindung gewöhnlich zugeschrieben wird, im Jahre 1771 (in den „Philosophical Transactions" Bd. LXI S. 129) bekannt machte, man könne mit Indigo verschiedene Stoffe gelb färben, wenn man ihn zuvor in Salpetersäure auflöse und koche.

Noch früher ist vom Kalisalz der Pikrinsäure die Rede; in Glaubers Pharmakopoee spielt eine alkoholische Lösung davon eine Rolle und das eben zitierte Universal-Lexicon hat die Vorschrift unter „Salpetertinctur Glaubers, Tinctura Nitri Glauberi" in den gleichen Band (p. 1205 bis 1206) aufgenommen:

„Nehmet einen guten Salpetergeist, da der weisse und rothe untereinander destilliret sind,[2]) zerlasset darinnen so viel saubere weisse Wolle, die durch eine Lauge von ihrer Fettigkeit wohl gereiniget ist, so viel als der Salpetergeist in der Wärme aufnehmen will, man träget die Wolle nach und nach hinein, wenn etwas aufgelöset ist, thut man mehr hinein, und damit führet man so lange fort, bis der Salpetergeist keine mehr angreifen will; Dann seiget man diese Auflösung durch, thut sie in ein grosses Glas, tröpfelt ein gutes Weinsteinöl[3]) dazu,

[1]) Das sogenannte Knallpulver besteht aus 3 Teilen Salpeter, 2 Teilen kohlensaurem Kali und 1 Teil Schwefel; schmilzt man es und erhitzt weiter, so explodiert es mit heftigem Knall. Es wird zuerst von Glauber in seinen „Philosophischen Oefen" (1648) erwähnt. Vgl. Teil I dieses Werkes, S. 350. (Anm. d. Verf.)

[2]) Glauber wandte auch zuerst die fraktionierte Destillation auf die Salpetersäure-Bereitung an und erhielt aus 2 Teilen Salpeter und 1 Teil Schwefelsäure erst bei mässiger Erwärmung von Untersalpetersäure (NO_2) fast freie, also annähernd farblose (weisse) Salpetersäure, dann in gewechselter Vorlage und bei erhöhter Temperatur eine Auflösung von viel Untersalpetersäure in Salpetersäure, also eine braunrote Flüssigkeit. Hier lässt er eine durch ununterbrochene Destillation erhaltene Mischung beider Flüssigkeiten anwenden. (Anm. d. Verf.)

[3]) An feuchter Luft zerflossenes kohlensaures Kali; vgl. Teil I d. Werkes, S. 225—227. (Anm. d. Verf.)

und davon entstehet eine starke Aufwallung. . . . . Wenn man nun gnung Weinsteinöl eingetropfet, und keine Aufwallung mehr verspüret, auch das Aufgelösete schön gelb geworden, so ist es genung. Darauf seiget man alles noch einmahl durch, thut es in eine Dunstschale, oder in einen Kolben, und zühet alle Feuchtigkeit herüber, so bleibet auf dem Boden ein schönes gelbes Saltz; nachdem dieses wohl abgetrocknet, güsset man einen hochrectificirten Brantewein darauf, und zühet eine schöne hochrothe Tinctur heraus. Wenn dann endlich mit etlichemahl Übergüssen keine Tinctur mehr in dem Saltze ist, und der Geist sich nicht mehr färbet, so nimmt man allen gefärbten Brantewein zusammen, und zühet ihn im Bade bis zur Hälfte gelinde ab, so erlanget man eine vortreffliche Tinctur, welche aus einem flüchtigen Saltze, mit einem subtilen Schwefel versetzet, bestehet. Sie treibet den Schweiss und Harn, und ist besonders in der Colic ein bewährtes Mittel. Die Dose ist von 10, 20 bis 30 Tropfen in einem blähungstreibenden Geiste, oder in andern bequemen Vehiculn. Das Saltz, so zurückgeblieben, seiget man durch und lässet es bis zur Trockene verrauchen, so bekommt man einen weinsteinisierten Salpeter, oder einen aus dem Geiste mit Weinsteinsaltze wieder hergestellten Salpeter. . . ."

Beim Erwärmen von Salpetersäure und Eintragen von gereinigter Wolle, so lange Lösung erfolgt, erhält man (neben weit weniger Xanthoproteïnsäure, Oxalsäure u. ä. und derjenigen Nebenprodukte, welche dem in der Hornsubstanz bis $3^1/_2$ % betragenden Schwefel ihre Entstehung verdanken, als aus Horn) Pikrinsäure, in Salpetersäure gelöst. Giebt man kohlensaures Kali zu dieser Lösung, so entweicht Kohlensäure und entsteht Salpeter und pikrinsaures Kali. Weingeist löst das letztere leichter, als den ersteren, so dass man durch Auswaschen eine „Tinctur" erhält, während der weisse Salpeter zurückbleibt.

Nach der Mahnung, die Tinktur nur im Wasserbade, gelinde und zur Hälfte abzudampfen, und der Bezeichnung des in ihr enthaltenen Salzes als flüchtig könnte man vermuten, dass Glauber auch dessen explosive Eigenschaften gekannt hat; er sagt es aber ebenso wenig ausdrücklich, wie der zitierte Mitarbeiter am „Universal-Lexicon", und erst Welter veröffentlichte im Anfange des Jahres 1799 (in den „Annales de Chimie", Bd. XXIX S. 301 ff.) diese Beobachtung, die er im Monat Fructidor des Jahres III der Republik, also zwischen dem 18. August und dem 16. September 1795 gemacht. Er löste Seide in kochender Salpetersäure und erhielt eine Lösung, an der er u. a. folgende Eigenschaften bemerkte:

„In dieser Flüssigkeit entdeckte ich bei verschiedenen Proben keine Spur von Oxalsäure; sie war gelb, färbte die Finger ebenso und teilte weisser Seide ein schönes Gelb mit, welches bei Waschungen mit Wasser nicht verblasste.

„Diese Flüssigkeit neutralisierte ich mit Kreide und Kalk; nachdem ich sie dann durch Abdampfen verdichtet, goss ich Alkohol hinzu, welcher darin einen schleimigen Niederschlag, den ich entfernte, hervorrief. Zum Alkohol gab ich Wasser und liess verdunsten. Es blieb eine gelbe Substanz mit zer-

fliesslichen Kalksalzen zurück. Nachdem ich diese Salze mit kohlensaurem Kali zersetzt, liess ich das vom kohlensauren Kalk Abgegossene in erwärmtem Sande stehen. Am anderen Tage fand ich, dass sich im Gefäss eine Menge von goldfarbigen, seidenartigen Krystallen angesetzt, welche wie Schiesspulver explodierten und, meiner Meinung nach, in einer Schusswaffe dieselbe Wirkung hervorgebracht hätten. Der Rauch, welcher bei dieser Verbrennung entstand, ähnelte dem bei der Verbrennung von Harzen entstehenden.

„Dieses goldfarbige Salz ist in Wasser und in Alkohol[1]) löslich; in der Kälte krystalisiert es aus den Lösungen heraus.

„Salzsäure, die man zu der Lösung giesst, lässt deren gelbe Färbung verschwinden und ruft eine milchige Trübung hervor.

„Unter der Einwirkung von Schwefelsäure entwickeln die Krystalle einen Geruch nach Untersalpetersäure. Chlor erzeugt in der Lösung einen Niederschlag von kleinen, weisslichen, glimmerartigen Krystallen, welche sich im Feuer verflüchtigen und verrauchend in der Kehle einen bitteren Geschmack hervorrufen. Der Rauch ist entzündlich und brennt wie die flüchtigen Öle.

„Ich behandelte neue Seide mit Salpetersäure, bemerkte wiederholt Krystalle von Oxalsäure, goss Salpetersäure zum honigartigen Rückstand, erhitzte das Gemisch etwas, um eine vollständige Lösung herbeizuführen, und liess es zwei Tage lang stehen: nach dieser Zeit fand ich noch einige Krystalle Oxalsäure, daneben aber eine Anzahl von anderen Krystallen, welche körnig, gelblich, sehr bitter, aber nicht sauer waren und sich im Feuer verflüchtigten...."

Weiter stellt Welter noch einige unrichtige Vermutungen auf, u. a. die, dass seine „gelbe Substanz" es sei, die der animalischen Galle den bitteren Geschmack verleihe. Diese Vermutung erwies sich bald als irrig, doch blieb der „gelben Substanz" der von Welter vorgeschlagene Name „Bitter (amer)", bis er seit Berzelius durch von dem griechischen Wort für „bitter" abgeleitete Bezeichnungen verdrängt wurde. Berzelius hielt „Welter's Bitter" noch für eine Verbindung der unveränderten Salpetersäure mit einer Substanz, die er als „Pikrin" bezeichnete, also für „Pikrinsalpetersäure"; erst Dumas wies nach, dass die Welter'sche Substanz keine Salpetersäure enthält, dass sie für sich als Säure Salze bildet, und legte ihr demgemäss den noch heute gebräuchlichen Namen „Pikrinsäure" bei.

---

[1]) Die in mehrere späteren Schriften (so z. B. auch in die bald zu zitierenden Veröffentlichungen Designolle's) übergegangene Angabe Liebig's, das Kaliumpikrat (bei Liebig: „kohlenstickstoffsaures Kali") sei in Weingeist unlöslich (Pogg. Ann. Bd. XIII [1828] S. 201), ist irrig: dieses Salz ist in Alkohol zwar nur schwer löslich (vgl. Kolbe, Org. Chemie, 2. Aufl. [1884], Bd. II S. 475), doch löslicher, als Salpeter. Ebenso ist es unrichtig, wenn Liebig (a. a. O. S. 208) Wolle unter denjenigen organischen Stoffen nennt, welche keine Pikrinsäure ergeben; vgl. Rammelsberg, Chemie, 5. Aufl. (1881) S. 282. In Wasser ist das pikrinsaure Kali allerdings weit schwerer löslich, als der Salpeter und als die meisten anderen Salze, so dass man, wie noch im Weiteren als praktisch sehr wichtig zu erwähnen, weder Pikrinsäure noch ihre leichter löslichen Salze bei Zutritt von Wasser mit Kalisalzen zusammenbringen darf, ohne dass Verwandlung der letzteren in Kaliumpikrat eintritt. (Anm. d. Verf.)

Man nennt zwar jede Darstellung eines Explosivstoffes aus organischem Material und Salpetersäure „Nitration“, und bezeichnet die Produkte dieses Prozesses auch unterschiedslos als „Nitroprodukte“; es ist jedoch für die Theorie festzuhalten, dass es sich hierbei um zwei verschiedene Vorgänge handeln kann: es ist entweder der ganze nach Fortfall des Wasserstoffatoms (H) der Salpetersäure (HNO_3) verbleibende Rest NO_3, der in die organische Verbindung eintritt, oder nur die sogenannte „Nitrogruppe“ NO_2, und nur die Produkte des zweitgenannten Vorganges sind „Nitroprodukte“ im strengen Sinne des Wortes, während die anderen am richtigsten, den Bezeichnungen der unorganischen Verbindungen mit NO_3 (salpetersauren Salze) entsprechund, als „Nitrate“ bezeichnet werden. Im allgemeinen werden Verbindungen, deren Bildung durch das Vorhandensein von freiem NO_2 in der Nitriersäure[1]) oder eine erhöhte Temperatur beim Nitrieren, welche die Entwickelung von NO_2 aus der Salpetersäure hervorruft, begünstigt wird, eher als eigentliche Nitroprodukte anzusprechen sein; Sicherheit in dieser Frage kann aber nur die Analyse der fertigen Produkte bieten. Enthält der mit Salpetersäure behandelte organische Stoff keinen Sauerstoff (wie z. B. das Benzol, H_6C_6), so braucht man nur den Sauerstoffgehalt des Produktes durch Elementaranalyse zu bestimmen, um zu erfahren, ob 2 oder 3 Atome Sauerstoff mit dem Atom Stickstoff in die neue Verbindung eingetreten sind; besteht aber der organische Grundstoff aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff, so wird die quantitative Zusammensetzung des Produktes nicht verändert, ob der organische

---

[1]) Nitroprodukte können natürlich auch mit reiner Untersalpetersäure, ohne Salpetersäure, hergestellt werden; nur würde es gewerblich nicht vorteilhaft sein, zu diesem Zwecke die reine Untersalpetersäure erst zu bereiten. Es bedarf übrigens, um z. B. aus einem Gemenge von Benzol und flüssiger Untersalpetersäure ebenso schnell, wie unter Verwendung von Salpetersäure, Nitrobenzol zu gewinnen, einer Erhitzung auf über 50° C. (in geschlossenem Gefäss); bei gewöhnlicher Temperatur erfordert die Reaktion mehrere Tage, unter Abschluss der atmosphärischen Feuchtigkeit (so dass keine Erwärmung durch Aufnahme solcher entstehen kann) sogar mehrere Wochen. Auf diese Beobachtung gründete der bald noch zu erwähnende Chemiker Turpin seine Erfindung der „Panklastite“ (von πὰν κλάσσειν = alles zerbrechen), flüssiger Sprengstoffe, die unmittelbar vor dem Verbrauch (z. B. auch in einem abgefeuerten Artilleriegeschoss nach dem Zerbrechen einer Zwischenwand) durch einfaches Zusammenmischen von Untersalpetersäure mit brennbaren Flüssigkeiten, wie Benzol, Schwefelkohlenstoff u. a. bereitet werden sollten. Etwa zehn Jahre früher hatte Sprengel vorgeschlagen, mit Salpetersäure Ähnliches zu thun; da sich jedoch diese Säure nur mit bereits nitrierten brennbaren Flüssigkeiten (Nitrobenzol u. ä.) ohne sofortige wechselseitige Einwirkung und gefährliche Erhitzung mischt, so bot Turpin's Vorschlag den Vorteil, dass man an sich völlig unexplosive Bestandteile anwenden konnte. Flüssige Explosivstoffe haben aber in der technischen Praxis nie festen Fuss fassen können; auch ein Aufsaugenlassen von geeigneten porösen Substanzen (Kieselguhr) hebt die ätzenden Wirkungen der Salpetersäure, wie der Untersalpetersäure nicht auf, und die letztere hat ausserdem noch die unangenehme Eigenschaft, schon bei + 22° C. zu sieden.

Grundstoff nur Wasserstoffatome (H) abgiebt, dafür aber auch nur Nitrogruppen (NO_2) erhält, oder ob Hydroxylgruppen (HO) im organischen Grundstoff durch ganze Salpetersäure-Reste (NO_3) ersetzt werden; auch werden in beiden Fällen, ob also die Hydroxylgruppen (HO) aus der Säure (HNO_3) und die sie zu Wassermolekülen (H_2O) ergänzenden Wasserstoffatome (H) aus dem organischen Stoff kommen, oder umgekehrt, die gleichen Mengen Wasser bei der Operation ausgeschieden werden. Will man daher durch chemische Analyse erfahren, ob in einem Nitroprodukt wirklich nur Nitrogruppen (NO_2) oder ganze Salpetersaure-Reste (NO_3) enthalten sind, so wird man am zweckmässigsten versuchen, welches Resultat eine Abtrennung des organischen Teiles der Verbindung ergiebt. So ist z. B. der in dieser Schrift hauptsächlich zu behandelnde, allgemein, aber theoretisch unrichtig auch als „Nitrocellulose" bezeichnete Stoff, die Schiessbaumwolle (wie vornehmlich durch die im März-Heft 1879 der Wiener Akademie veröffentlichten Untersuchungen J. M. Eder's nachgewiesen), nicht als Nitroprodukt, sondern als Salpetersäureäther, als Cellulosenitrat aufzufassen; denn:

1. Alkalien entziehen ihr mit Leichtigkeit Salpetersäure, unter Bildung von salpetersauren Salzen, welche aus der alkalischen Lösung krystallisiert erhalten werden können;

2. Mit Schwefelsäure giebt sie schon in der Kälte so gut wie allen Stickstoff in Salpetersäure, gänzlich frei von Untersalpetersäure, ab. Die Salpetersäure wird bei diesem Prozess einfach durch Schwefelsäure ersetzt, die entstehende Celluloseschwefelsäure enthält kein Nitroprodukt;

3. Gegen Eisenvitriol und Eisenchlorür verhält sie sich ganz analog den salpetersauren Salzen;

4. Ebenso verhält sie sich auch beim Zerlegen mit Schwefelsäure über Quecksilber ganz wie die salpetersauren Salze, indem sie allen Stickstoff in Stickoxydgas abgiebt;

5. Reduzierende Agantien, wie Kaliumsulfhydrat, Zinnoxydulnatron, essigsaures Eisenoxydul, verwandeln die „Nitrocellulose" in gewöhnliche Cellulose.

Auf die quantitativ sechs Atome Kohlenstoff, drei Atome Wasserstoff, drei Atome Stickstoff und sieben Atome Sauerstoff ($C_6H_3N_3O_7$) aufweisende Pikrinsäure trifft keines dieser Kennzeichen vom Vorhandensein von NO_3 zu, sie ist demnach als Nitroprodukt und mit der Formel $C_6H_3(NO_2)_3O$ zu bezeichnen.

Die Pikrinsäure bildet sich beim Erhitzen sehr vieler organischen Stoffe mit Salpetersäure: so vermögen z. B. animalische Substanzen, wie Horn, Haare, Haut, Federn, Seide, Fleischfaser, vegetabilische wie Indigo, Salicylsäure, Aloë, Benzoë, Akaroidharz sie zu liefern. Technisch wird

sie aber heute ausschliesslich aus Phenol (Carbolsäure, C_6H_6O) hergestellt, welcher Stoff aus den Nebenprodukten der Gasfabrikation in grossen Mengen gewonnen wird und sich sehr vollkommen in Pikrinsäure verwandeln lässt. Die Angabe dieses Rohmaterials für die Pikrinsäure-Bereitung und der Nachweis, dass das so gewonnene Produkt mit denen aus den anderen genannten Materialien identisch ist, sind Laurent zu verdanken (Annales de Chimie et de Physique für 1841, S. 221 ff.).[1])

Die grosse Färbekraft der Pikrinsäure ($^1/_{10000}$ färbt Wasser noch deutlich gelb) und die Beständigkeit ihrer (durch chemische Verbindung mit der Faser erfolgenden) Ausfärbungen auf Seide und Wolle, die schon Woulfe und Welter bemerkt, verschafften ihr in den vierziger und fünfziger Jahren eine nicht geringe Bedeutung als Farbstoff. Heute ist sie von diesem Felde durch neuere Erfindungen fast ganz verdrängt, und ihr Hauptwert liegt auf dem Gebiete der Sprengstoffe.

Die Pikrinsäure enthält nur die Hälfte der Sauerstoffmenge, die zu ihrer vollständigen Verbrennung nötig wäre, und die oft vorgeschlagenen Mischungen mit salpetersauren oder chlorsauren Salzen würden sich im Grossen wohl kaum herstellen und aufbewahren lassen, da beim Hinzutritt von Wasser die Pikrinsäure die Salpetersäure und die Chlorsäure aus ihren Salzen austreibt und schon die gewöhnliche atmosphärische Feuchtigkeit hinreicht, um diese sehr gefährliche Reaktion einzuleiten. Auch Auflösungen in Salpetersäure (die Sprengel versucht hat) oder in Untersalpetersäure lassen sich — abgesehen von ihren sonstigen Fehlern — nicht lange aufbewahren. Die Arbeitsentwickelung der unvollkommen verbrennenden Pikrinsäure lässt sich aus dem bereits bekannten Grunde theoretisch nicht berechnen, ist aber jedenfalls weit geringer, als z. B. die der Schiessbaumwolle. Trotzdem hat die hohe Brisanz des Trinitrophenols, sein hohes spezifisches Gewicht (1,7), welches die Unterbringung einer relativ grossen Menge in gegebenem Raume gestattet, und seine nicht übermässige Empfindlichkeit ihm in der neuesten Zeit namentlich in der Sprenggeschoss-Technik einen ehrenvollen Platz erworben. Man hielt früher die Pikrinsäure für gegen Erschütterung ausserordentlich empfindlich und scheute sich daher, sie als Sprengladung für Hohlgeschosse zu verwenden; in den achtziger Jahren gelang es aber dem Pariser Chemiker Turpin, diese Scheu zu überwinden, indem er insbesondere zeigte, dass

[1]) Laurent beschrieb auch (a. a. O.) das gewöhnlichste Dinitrophenol, $C_6H_4(NO_2)_2O$; Hofmann (in den Annalen der Chemie und Pharmacie, Bd. LXXV S. 358 und Bd. CIII S. 247) das gewöhnlichste Mononitrophenol, $C_6H_5(NO_2)O$. Über seltenere Isomeren s. Ladenburg's Handwörterbuch der Chemie. In der Explosivstoff-Technik hat nur die Pikrinsäure Anwendung gefunden. Auch von den Nitrationsprodukten des mit dem Phenol eng verwandten Cresols (C_7H_8O) ist nur ein Trinitrocresol (Cresilit) und sein Ammoniaksalz (Ecrasit) als Sprengstoff in Gebrauch.

in geschmolzenem Zustande (bei etwas über 120° C.) in die Geschosse eingegossene, also erstarrt eine feste, keine Reibung oder Stauchung zulassende Masse bildende Pikrinsäure gefahrlos aus Geschützen verschossen werden kann. In dieser Form und unter dem Namen „Melinit" (von μέλι = der Honig; die geschmolzene Pikrinsäure sieht honigartig aus) ist das Trinitrophenol in Frankreich, in anderen Formen und unter anderen Namen in vielen anderen Staaten als brisanter Sprengstoff eingeführt.

Als Schiesspräparat ist die reine Pikrinsäure ihrer Brisanz wegen nicht zu verwenden, und ist zu diesem Zwecke anscheinend auch nie vorgeschlagen worden. Desto häufiger sind zwei ihrer Salze: das Kaliumpikrat, — dem schon Welter eine schiesspulverähnliche Wirkung zutraute, das er aber, trotzdem wir ihn (S. 50) in der Revolutionszeit mit Pulververbesserungs-Versuchen beschäftigt sahen, in diesem Sinne nicht versucht zu haben scheint, — und das zuerst von Dulong im Jahre 1809 (Ann. de Chimie, Bd. LXXII S. 114 ff.) bereitete Ammoniumpikrat von Pulvertechnikern in Betracht gezogen worden: doch die so zu Tage getretenen Vorschläge sind mehr zahlreich, als mannigfaltig, und lassen sich insgesammt auf zwei Zusammenstellungen zurückführen, die sich im wesentlichen nur dadurch unterscheiden, dass die eine neben gewöhnlichem Kalisalpeter Kaliumpikrat, die andere Ammoniumpikrat enthält; diese geringe Verschiedenheit der Pikratpulver — im Gegensatz z. B. zu den Chloratpulvern — erklärt sich dadurch, dass auch die Salze der Pikrinsäure, wie die Pikrinsäure selbst, einen Fehlbetrag an Sauerstoff zu ihrer Verbrennung aufweisen, dessen Fehlen sich bei ihrer Explosion durch die schon von Welter beobachtete und von den Pulvererfindern mit Recht nach Möglichkeit vermiedene Entwickelung eines russreichen, schwarzen Rauches bemerkbar macht, dass sie also mehr als zu verbrennende, als als sauerstoffliefernde Körper in die Pulvermischungen eintreten und einer Ergänzung durch einen Sauerstofflieferer bedürfen, als welcher aus schon bekannten Gründen praktisch nur der Kalisalpeter in Betracht kommen kann.

Ein Pulver aus pikrinsaurem Kali und Salpeter wurde zuerst von Designolle im Jahre 1861 hergestellt. Sieben Jahre später erfolgte schon die Fabrikation in den französischen Staatsfabriken in Le Bouchet auf ziemlich grossem Fusse. Nach Dingler's Polytechnischem Journal, Bd. 192 S. 67 ff. fabrizierte man 1868 vier Arten des Designolle'schen Pulvers:

1. Gewehrpulver;
2. Rasch wirkendes Kanonenpulver für Geschütze mit kurzem Rohr;
3. Langsam wirkendes Kanonenpulver für Geschütze mit langem Rohr;
4. Sprengpulver für Torpedos und Sprenggeschosse.

Das Gewehrpulver erhielt nicht über 20 % Kaliumpikrat, die Kanonenpulver 8—15 %; diese Schiesspulver erhielten zur Verminderung der

Brisanz auch etwas Kohle, während das Sprengpulver nur aus Kaliumpikrat (bis 90 %) und Salpeter bestand.

Diese Mischungsverhältnisse wurden nach Berthelot (a. a. O. Bd. II, S. 251 ff.) später dahin abgeändert, dass das Sprengpulver 50,4 % Kaliumpikrat und 49,6 % Salpeter, das Geschützpulver (2. oder 3.?) 9 % Pikrat, 80 % Salpeter und 11 % Kohle und das Gewehrpulver 23 % Pikrat, 69 % Salpeter und 8 % Kohle erhielt.

Das mechanische Verfahren war für alle Mischungen dasselbe. Der Satz wurde unter Zusatz von 6—14 % Wasser 3 bis 6 Stunden lang gestampft, dann vermittelst einer hydraulischen Presse unter je nach der gewünschten Verbrennungsgeschwindigkeit von 30000 bis 100000 Kilogramm auf den Quadratcentimeter variierendem Druck zu Kuchen gepresst, gekörnt und in der gewöhnlichen Weise in rotierenden Tonnen poliert.

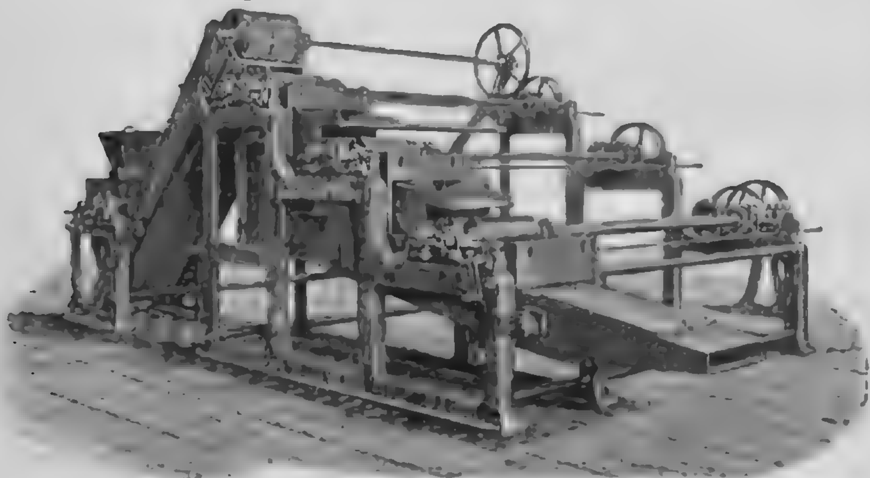


Abb. 14. Walzen-Körnmaschine.

Die Zerteilung der so stark gepressten Pikratpulverkuchen zu Körnern konnte wohl nur in einer Walzen-Körnmaschine erfolgen. Abb. 14 zeigt eine Maschine dieser Art, wie sie vom Grusonwerk in Magdeburg-Buckau hergestellt wird. Sie arbeitet mit einem Vorbrech-Walzenpaar, einem Elevator, drei Paar stufenweise übereinander liegenden Körnwalzen und einer Schüttelsieb-Vorrichtung. Nachdem das Pulver durch die Vorbrechwalzen gegangen ist, wird es vom Elevator nach dem obersten Körnwalzenpaar transportiert. Unter jedem Körnwalzenpaar ist ein Sieb angebracht, welches das genügend feine Pulver und den Staub durchfallen lässt, während das noch zu grobe nach dem nächsten Walzenpaar oder zum Auslauf gelangt. Das feine Pulver und der Staub gelangen auf ein weiteres Sieb, welches den Staub durchfallen lässt und das brauchbare Pulver zum Auslauf bringt. Die sämmtlichen Siebe sind in einem Kasten

vereinigt, der am Gestell aufgehängt ist und durch eine Kurbelwelle bewegt wird. Die Walzen bestehen aus Bronze, sind je nach der Verwendung glatt oder auch an der Oberfläche geriffelt oder gezahnt und mittelst Schnecke und Schneckenrad parallel zu ihren Axen verstellbar. Die Maschine wird in der Regel auf einem eisernen Gestell montiert, und ein zweites Gestell angeordnet, welches von jenem so weit entfernt liegt, dass die Wand des Gebäudes dazwischen Platz findet. Die Wellen der Walzen sind bis zu dem letztgenannten Gestell verlängert und auf diesem nochmals gelagert. Es wird hierdurch möglich, den gesammten Antriebs-Mechanismus ausserhalb des Arbeitsraumes der Körnmaschine zu verlegen, wodurch die Sicherheit des Betriebes sehr erhöht wird. Diese Anordnung war in den sechziger Jahren noch nicht gebräuchlich und auch das Stampfen der Designolle'schen Pulver mag nicht ungefährlich gewesen sein, da (nach Berthelot a. a. O. Bd II, S. 249) nur ein Wassergehalt von 15 % in allen Teilen das Kaliumpikrat vor dem Entzündetwerden durch Stoss sichert; doch scheinen sich bei dem beschriebenen Betriebe in den französischen Staatsfabriken keine Unfälle ereignet zu haben: nur bei einem Feuerwerker an der Place de la Sorbonne in Paris, welcher gleichfalls Kaliumpikrat verarbeitete, erfolgte im Jahre 1869 eine Explosion, die mehrere Häuser zerstörte. Langsam steigende Temperatur ist dem Kaliumpikrat und den Designolle'schen Pulvern nicht besonders gefährlich; Leygue und Champion erhielten bei langsamem Erwärmen verschiedener Explosivstoffe folgende Resultate (Dingl. Polyt. Journ. Bd. CCIII, S. 303):

Explosivstoff.	Entzündungs-Temperatur.
Knallquecksilber	200
Gemenge von 1 Teil chlorsaurem Kali und 1 Teil Schwefel	200
Gemenge von 1 Teil chlorsaurem Kali und 1 Teil Schwefelantimon	280
Schiessbaumwolle	220
Schwarzes Jagdpulver	288
Schwarzes Geschützpulver	295
Quecksilberpikrat	296
Bleipikrat	296
Eisenpikrat	296
Ammoniumpikrat	336
Kaliumpikrat	336
Pikratmischung für Torpedos	315
Gewehrpulver mit Pikrat	358
Pikrinsäure	380
Nitroglycerin	256—257

Im deutsch-französischen Kriege von 1870/71 soll einige aus Designolle'schem Pulver verfertigte Gewehrmunition verbraucht worden sein; jedenfalls ohne dass man hierbei besonders günstige Erfahrungen gesammelt hätte, da die Fabrikation dieses Pulvers in den siebziger Jahren nicht

fortgesetzt wurde. Auch über Friedensversuche mit diesem Präparat ist nichts veröffentlicht. Der Erfinder bezeichnet als Vorzüge seiner Schiesspulver dem alten gegenüber besonders deren erhöhte ballistische Wirksamkeit ohne Erhöhung der Brisanz, sowie die vollkommene Unschädlichkeit und fast vollständige Unsichtbarkeit des beim Schiessen mit ihnen entstehenden Dampfes. Unter den von Berthelot genannten Mischungsverhältnissen entspricht nur dasjenige des Sprengpulvers einer vollständigen Verbrennung, welche aus dem Kilogramm 997 Cal. Wärme liefert; über die Kraftentwickelung des unvollständig verbrennenden Schiesspulvers lässt sich vom Standpunkte der Theorie nur bestätigen, dass sie grösser gewesen sein muss, als die gewöhnlichen Schwarzpulvers: mit einem Zusatz von noch 30 g Salpeter zum Kilogramm hätte das von Berthelot genannte Geschützpulver 850 Cal., das Gewehrpulver mit noch 80 g Salpeter 950 Cal. ergeben. Die festen Explosionsprodukte hätten im ersteren Falle in 740 g, im letzteren in 775 g kohlensaurem Kali bestanden. Wie erheblich die Verbrennungsprodukte des Kaliumpikrats je nach dem Drucke, unter welchem es verbrennt, variieren, zeigen Versuche, welche die französischen Staatsingenieure Vieille und Sarrau mit diesem Salze anstellten, als man im Anfang der achtziger Jahre auch in Frankreich mit erneutem Eifer auf früher verworfene Schiesspräparate zurückgriff. Diese Arbeiten führten in weiterer Folge zur Erfindung des ersten als kriegsbrauchbar befundenen rauchschwachen Pulvers aus Schiessbaumwolle, betrafen aber zunächst ihrer chemischen und physikalischen Beschaffenheit nach bereits allgemein bekannte Explosivstoffe, und ihre Ergebnisse wurden in diesen Stadien auch der Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Beim Verbrennen verschiedener Mengen von Kaliumpikrat in gleichem Raume, also unter verschiedenem Drucke, und Vergleichen der Verbrennungsprodukte erhielten Sarrau und Vieille folgende Resultate (Ber. d. Pariser Akad. Bd. XCIII, S. 61):

Explosionsprodukte:		Verhältnis der Ladung in g zum Explosionsraume in kbcm:		
		0,023	0,3	0,5
Cyanwasserstoff	in Volumprocenten bei 0° und 1 Atm. Druck	1,98	0,32	0,31
Kohlensäure		10,56	13,37	20,48
Kohlenoxydgas		62,10	59,42	50,88
Sumpfgas		0,17	2,38	5,39
Wasserstoff		10,31	6,77	2,68
Stickstoff		16,88	17,74	18,26
Kaliumcyanür in Gewichtsprocenten des sonst aus kohlensaurem Kali und nie über $^1/_{1000}$ Kohle bestehenden festen Rückstandes		29,8	34,7	24,3
Kohle als Färbung des festen Rückstandes beobachtet .		Leichte Spuren	Nicht zu bemerken	Deutliche Färbung

Der Cyanwasserstoff (die Blausäure) und das Cyankalium gehören bekanntlich zu den stärksten Giften; da aber die Menge besonders des im Einatmen gefährlicheren gasförmigen Produktes bei abnehmender Gesammtmenge der noch brennbaren Explosionsprodukte fiel, und da die Designolle'schen Pulver doch nur einen nicht besonders bedeutenden Fehlbetrag an Sauerstoff aufweisen, so lässt sich zu Gunsten der letzteren annehmen, dass sie keinen gesundheitsgefährlicheren Dampf entwickelten, als das gewöhnliche Schwarzpulver. Auch kann zugestanden werden, dass, obgleich das in der Menge von etwa drei Vierteln der Ladung gebildete kohlensaure Kali keinesfalls augenblicklich vor dem Rohre unsichtbar werden konnte, die Abwesenheit von Schwefel eine verhältnismässig schnellere Zerteilung des Rauches begünstigt haben muss. Ganz unwahrscheinlich klingt aber, dass die Brisanz der Designolle'schen Pulver nicht grösser gewesen sein soll, als die des Schwarzpulvers; dem widersprechen weitere von Sarrau und Vieille mit dem Kaliumpikrat erzielten Versuchsergebnisse vollkommen.

Um die Gasspannung in verschlossenem Raume verbrannter Explosivstoffe zu untersuchen, bedienten sich Sarrau und Vieille des bereits bekannten Noble'schen Stauchapparates, unterwarfen jedoch zunächst den Apparat selbst und seine Benutzungsweise einer grundlegenden Untersuchung.

Durch Stauchung von 13 mm hohen und 8 mm im Durchmesser haltenden Kupfercylindern mit allmählich bis zum Maximum verstärktem Gewichtsdruck wurde zunächst festgestellt, dass, so lange die Höhenabnahme des gequetschten Cylinders etwa 5,5 mm nicht übersteigt, das Verhältnis zwischen dieser Höhenabnahme (ε) in Millimetern und dem Maximaldruck (P) in Kilogrammen stets durch die Gleichung

$$P = k_0 + k\varepsilon \qquad (1)$$

ausgedrückt werden kann, wobei k_0 und k zwei durch die Methode der kleinsten Quadrate zu 541 bezw, 535 bestimmte Konstanten sind.

Wie genau nach dieser Gleichung errechnete Resultate mit den bei Versuchen erhaltenen übereinstimmten, zeigt folgende Tabelle:

Endbelastung kg	Höhenabnahme mm berechnet	Höhenabnahme mm beobachtet
1000	0,86	0,90
1500	1,79	1,74
2000	2,73	2,67
2500	3,66	3,73
3000	4,59	4,62
3500	5,53	5,49

Die Ergebnisse der Berechnungen unterschieden sich also von denjenigen der Versuche nur um 3—7 Hundertstel Millimeter.

Um nun zu erfahren, inwiefern diese Erfahrungen auf die mechanischen Wirkungen von Explosionen anwendbar sind, musste auf ein Studium der Zeitumstände bei den letzteren eingegangen werden.

Zwei Grenzfälle sind offenbar in den zeitlichen Beziehungen zwischen der Entwickelung der Explosionsgasspannung und der Bewegung des Stempels im Stauchapparat möglich:

1. Die Spannungsentwickelung ist so langsam, und die Masse des Stempels ist so gering, dass sich der letztere sofort nach dem Beginn der Explosion in Bewegung setzt und zum Stillstand kommt, wenn das Maximum der Spannung erreicht ist; in diesem Falle ist die Gleichung (1) ohne weiteres anwendbar;
2. Die Gasspannung entwickelt sich so schnell, und die Masse des Stempels ist so bedeutend, dass er seine Bewegung nicht beginnen kann, bevor das Spannungsmaximum eingetreten ist; hier muss der ganze Weg des Stempels als unter dem gleichen Druck zurückgelegt betrachtet werden, wobei man die Gleichung erhält:

$$P = k_0 + \frac{k\varepsilon}{2}. \qquad (2)$$

Zwischen diesen beiden Grenzfällen liegen alle übrigen.

Bezeichnet man mit

$f(t)$ den variablen Druck auf den Stempel;
m die Masse des Stempels;
R den Widerstand des Kupfercylinders;
u den Weg des Stempels innerhalb der Zeit t;

so ist

$$m \cdot \frac{d^2u}{dt^2} + R = f(t).$$

Macht man die den Gasdruck aufnehmende Fläche des Stempels immer nur so gross, dass die Höhenabnahme des Kupfercylinders nicht erheblich grösser wird, als 5,5 mm, so darf man setzen:

$$m \cdot \frac{d^2u}{dt^2} + ku + k_0 = f(t).$$

Durch Integration dieser Gleichung erhält man, wenn die Funktion $f(t)$ ein Maximum passiert:

$$P = k_0 + \frac{k\varepsilon}{1 + \varphi\left(\frac{\tau}{\tau_0}\right)},$$

wobei bedeutet:

τ die Zeit, welche zwischen dem Anfang der Bewegung des Stempels und dem Eintreten des Druckmaximums liegt;

τ_0 die Dauer der Zusammendrückung des Kupfercylinders durch eine konstante, auf einen Stempel von der Masse m einwirkende Kraft;

φ eine Funktion, die $= 1$ ist, wenn die Variable $= 0$ ist, und schnell kleiner wird, wenn die Variable grösser wird.

Um für ein beobachtetes ε das Druckmaximum P zu bestimmen, braucht man also vor allem den Wert $\frac{\tau}{\tau_0}$. Gelingt es durch zweckmässige Anordnung eines Versuches, diesen Wert annähernd $= 0$ zu machen, so wird man mit annähernd richtigem Resultat die Gleichung (2) zur Berechnung des Druckes anwenden dürfen; der entgegengesetzte Grenzfall (1) wird angenommen werden können, wenn Steigerungen der Variable keine merkliche Veränderung von ε mehr ergeben.

Der Wert τ_0 ist gegeben durch die Formel:

$$\tau_0 = \pi \left(\frac{m}{k}\right)^{\frac{1}{2}};$$

um τ in jedem Falle beobachten zu können, ergänzten Sarrau und Vieille den Noble'schen „crusher“ mit einem schon früher bekannten, aber zu diesem Zwecke noch nicht gebrauchten Zeit-Registrierapparat. An jedem der bei den Versuchen zu gebrauchenden Stempel, die alle eine Grundfläche von 1 qcm, aber sehr verschiedenes Gewicht hatten, wurde seitwärts eine Stahlnadel angebracht, die bei zusammengesetztem Apparat die mit Russ überzogene Oberfläche eines um seine dem Stempelweg parallele Axe mit der Geschwindigkeit von 5 m in der Sekunde rotierenden Cylinders berührte. Gleichzeitig berührte auch eine zweite, an einer elektrisch in Vibration erhaltenen Stimmgabel befestigte Nadel die Cylinderoberfläche und zeichnete eine Sinusoïde, deren Undulation als Massstab bei der Untersuchung der von der Stempelnadel während der Explosion gezeichneten spiralartigen Kurve diente.

Der so ergänzte Stauchapparat wurde an dem starken Stahlgefäss angebracht, in welchem man die zu studierenden Explosivstoffe, in dünnes Papier eingehüllt und derart aufgehängt, dass sie nirgends die Wände des Explosionsraumes berührten, auf elektrischem Wege zur Explosion brachte.

Nachstehende Tabelle zeigt die Ergebnisse:

Explosivstoff.	Verhältnis der Ladung in g zum Explosionsraum in kbcm.	Form des Explosivstoffes.	Gewicht des Stempels.	τ_0	τ	$\frac{\tau}{\tau_0}$	Höhenabnahme d. Kupfercylinders
			g	Sekunden	Sekunden		mm
Schwarzpulver	0,70	Mehl	59,7	0,000343	0,00165	4,8	5,70
(6 Teile Salpeter,	0,70	„	42,7	0,000298	0,00165	5,5	5,73
1 Teil Schwefel,	0,70	Körner (ca. 1500 i. Gramm)	59,7	0,000343	0,00255	7,4	5,70
1 Teil Kohle)	0,70	„	42,7	0,000298	0,00255	8,6	5,67
„	0,70	Mehl	15,7	0,000186	0,00165	8,9	5,73
„	0,70	Stück eines Pulverkuchens	59,7	0,000343	0,00420	12,5	5,60
„	0,70	„	59,7	0,000343	0,00570	17,0	5,80
„	0,70	Gepresster Block	59,7	0,000343	0,07300	218,0	5,50
„	0,70	„	59,7	0,000343	0,08400	251,0	5,60
Kaliumpikrat	0,30	Mehl	59,7	0,000343	0	0	5,40
„	0,30	Gepresster Block	59,7	0,000343	0,00052	1,5	4,20
„	0,30	„	59,7	0,000343	0,00064	1,9	3,40
Schiessbaumwolle	0,20	Mehl	727,1	0,001172	0	0	5,40
„	0,20	„	59,7	0,000343	0	0	5,42
„	0,20	„	42,7	0,000298	0	0	5,40
„	0,20	„	15,7	0,000186	0	0	5,03
Nitroglycerin	0,30	Mischung mit Kieselguhr	4000,0	0,002744	0,00026	0,09	6,50
„	0,30	„	727,1	0,001172	0,00026	0,22	6,25
„	0,30	„	59,7	0,000343	0,00026	0,76	5,50
„	0,30	„	15,7	0,000186	0,00026	1,40	3,52
„	0,30	„	6,9	0,000136	0,00026	1,90	3,50
„	0,30	„	3,8	0,000111	0,00026	2,30	3,50

Beim Schwarzpulver veränderte sich die Höhenabnahme des Probecylinders nicht wesentlich, während $\frac{\tau}{\tau_0}$ zwischen 4,8 und 251 schwankte; immer konnte also die Funktion $\varphi = 0$ gesetzt und der unmittelbare Vergleich mit den Ergebnissen des allmählich verstärkten Gewichtsdruckes, also Gleichung (1) zur Berechnung des höchsten Explosionsdruckes benutzt werden. Daher behalten auch, wie schon einmal erwähnt, die von früheren Forschern für Explosionsdrücke von Schwarzpulverladungen in Feuerwaffen ermittelten Zahlen ihren Wert; jedoch nur, wenn die Druckmesser derart angebracht waren, dass sie gleich nach dem Beginn der Explosion zu funktionieren anfangen konnten, d. h. am Ladungsraume. Befindet sich der Druckmesser weiter vorn am Lauf, so langen die Gase schon mit einer erheblichen Spannung bei ihm an: so erklärt sich die in der 5. und 6. Ta-

belle des I. Kapitels (S. 20) dargestellte Thatsache, dass sich bei Rodman's Versuchen mehrfach ganz vorn am Geschützlauf eine neue Steigerung des Druckes zu ergeben schien.

Beim Nitroglycerin kam man durch Variierung der Masse des Stempels beiden Grenzfällen sehr nahe: bei einem Stempelgewicht von 4 kg wurde $\frac{\tau}{\tau_0}$ annähernd $= 0$, und ε fast doppelt so gross, als bei einem Stempelgewicht von wenigen Grammen; im ersteren Falle war also die Gleichung (2), im letzteren (1) anwendbar.

Mit Schiessbaumwolle konnte kein messbarer Wert für τ erzielt werden; sie zeigte lauter typische Fälle des Charakters (2). — Trotzdem gelang es Vieille einige Jahre später, gerade aus diesem Material sein berühmtes rauchschwaches Pulver herzustellen.

Ganz wie die Schiessbaumwolle verhielt sich auch das Kaliumpikrat in Staubform. Bei gepresstem Kaliumpikrat war τ zu messen, und zwar waren die Resultate dieser beiden Versuche sehr ungleich, was wohl durch ungleiche Pressung zu erklären ist und die Meinung Designolle's bestätigen würde, dass die Pressung auf die Brisanz des Kaliumpikrats bedeutenden Einfluss äussert; auch die gepressten Pikrat-Kuchen wirkten aber bei den Sarrau-Vieille'schen Versuchen unverkennbar viel brisanter, als das Schwarzpulver. —

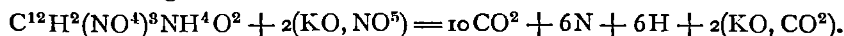
Um die Menge der festen Explosionsprodukte zu verringern, ersetzte im Jahre 1869 Brugère das von Designolle gebrauchte Kaliumpikrat durch Ammoniumpikrat und stellte ein Schiesspulver aus 54 Teilen dieses Salzes und 46 Teilen Salpeter her. Er sagt im LXIX. Bande der Ber. der Pariser Akademie, S. 716 ff., über sein Pulver:

„Das Ammoniumnitrat explodiert, mit einer Flamme berührt, nicht, wie die meisten übrigen Pikrate; es fängt ohne Explosion Feuer und brennt, mit einer rotem Flamme und viel Kohle hinterlassend, ruhig ab.

„Ich kam auf den Gedanken, diesen so gasreichen Körper mit Salpeter zu mischen, und erhielt so langsam brennende Pulver, deren Verbrennungsgeschwindigkeit je nach dem Mengeverhältnis der beiden Bestandteile verschieden ist. Dasjenige, welches die besten Schussresultate zu ergeben schien, besteht aus

54 Teilen Ammoniumpikrat und
46 Teilen Salpeter.

„Bei der Verbrennung dieses Pulvers wird alle Kohle verbrannt; es bleibt als fester Rückstand nur kohlensaures Kali übrig. Folgende Formeln erklären diese Erscheinung:



$$C^{12}H^2(NO^4)^3NH^4O^2 + 2(KO, NO^5) = 10\,CO^2 + 6N + 6H + 2(KO, CO^2).$$

„(Ich nehme an, was annähernd richtig ist, dass die gasförmigen Produkte der Explosion dieses Pulvers in einem verschlossenen Raume mit Ausnahme der Kohlensäure nur aus gasförmig bleibenden Stoffen bestehen.)

„Nach den Äquivalenten müssten 100 g dieses Pulvers 38,86 g kohlensaures Kali und 69,14 g gasförmige Produkte geben, welche letzteren bei 0^0 und normalem Barometerdruck ein Volumen von 52,05 l besitzen müssten; ich habe aber erkannt, dass man in der Praxis nur 48 l erhält. Durch Vergleich mit den von Bunsen und Schischkoff für das gewöhnliche Pulver gefundenen Zahlen erhält man als Volumverhältnis der gasförmigen Produkte meines Pulvers zu denen des gewöhnlichen $^{48}/_{19,094}$ oder annähernd 2,5.[1])

„Das beschriebene Ammoniumpikratpulver entzündet sich bei der Berührung mit einer Flamme ohne Explosion und ist durch Schlag ganz unentzündlich. Erhitzt man es sehr langsam, so zeigt es bis $+ 150^0$ C. keine Veränderung; dann nimmt es Orange-Farbe an. Bei 190^0 beginnt das Ammoniumpikrat sich in gelben Dämpfen zu verflüchtigen, welche bei weiter steigender Temperatur immer dichter werden; bei 300^0 schmilzt der Salpeter, und bei 310^0 erfolgt die Explosion. Erhält man die Temperatur sorgfältig zwischen 200 und 250^0, so kann man alles Ammoniumpikrat durch Sublimation aus dem Pulver entfernen.

„Im Zustande eines Kuchens brennt es mit einer mittleren Geschwindigkeit von 0,006 m in der Sekunde (gegen 0,011 m bei gewöhnlichem Pulver im gleichen Zustande). Seine Flammentemperatur wurde noch nicht bestimmt.

„Längere Zeit hindurch der Einwirkung von Wasser ausgesetzt, zersetzt es sich in Kaliumpikrat und Ammoniumnitrat.

„Nach den Versuchen, die ich vier Monate lang in meinem Laboratorium und auf dem Schiessplatze von Grenoble vorgenommen habe, glaube ich, dass das Ammoniumpikratpulver dem gewöhnlichen gegenüber folgende Vorzüge aufzuweisen hat:

„1. Es fällt gleichmässiger aus und giebt daher gleichmässigere Resultate. Es besteht aus zwei Salzen, die leicht krystallisieren und leicht in grosser Reinheit erhalten werden können.

„2. Es ist weniger hygroskopisch: 2 g davon, die über gebranntem Kalk getrocknet und der Einwirkung der Luft meines Laboratoriums ausgesetzt wurden, nahmen nur 0,007 g Wasser auf, während die gleiche Menge gewöhnlichen Pulvers, gleich behandelt, 0,025 g Wasser aufnahm.

„3. Die Wirkung gleicher Gewichtsmengen ist bedeutend grösser. Ich habe damit wiederholt aus dem Chassepot-Gewehr geschossen, und beobachtet, dass

---

[1]) Man mass früher der Menge derjenigen Produkte, welche nach der Explosion eines Explosivstoffes gasförmig erscheinen, eine besondere Bedeutung für dessen Kraft bei. Einerseits ist es aber, wie im Früheren schon erwähnt, wenigstens durchaus unerwiesen, dass sich z. B. nicht auch das kohlensaure Kali während der Explosion einer Ladung Brugère-Pulver in gasförmigem Zustande befindet, andererseits ist z. B. eine Mischung von chlorsaurem Kali und rotem Phosphor, so dosiert, dass sich nur Chlorkalium und wasserfreie Phosphorsäure, also nur bei gewöhnlicher Temperatur feste Stoffe bilden können, ein starker Sprengstoff. (Anm. d. Verf.)

2,6 g dieses Pulvers dem Geschoss dieselbe Geschwindigkeit mitteilten, wie die gewöhnliche 5,5 g schwere Pulverladung. Die Patronen waren durch Einsetzen von 12 Pappscheiben zwischen Pulver und Geschoss auf die gewöhnliche Länge gebracht;[1]) diese Scheiben entzogen natürlich einen beträchtlichen Teil der vom Pulver geleisteten Arbeit dem Geschoss.

„4. Der Rückstand ist geringer (nur etwa ein Viertel des gewöhnlichen, bei gleicher Schussleistung).

„5. Der fast ausschliesslich aus kohlensaurem Kali bestehende feste Rückstand greift das Metall der Waffen nicht an.

„6. Der Rauch ist fast beseitigt und geruchlos. Derjenige, welcher sich bildet, ist nur ein Wölkchen von Wasserdampf, entstanden durch die Verbindung des freiwerdenden Wasserstoffes mit dem Sauerstoff der atmosphärischen Luft.

„Die Festigkeit der Körner dieses Pulvers, ihre Dichte und Entzündungstemperatur sind annähernd dieselben, wie beim gewöhnlichen Pulver.

„Das Kilogramm Ammoniumpikrat-Pulver kostet gegenwärtig 4 Francs; bei gleicher Arbeitsleistung stellt sich der Preis dieses Pulvers dem des gewöhnlichen Pulvers ziemlich gleich.

„Die bisherigen Schiessversuche waren nicht zahlreich genug, um über alle Eigenschaften des neuen Pulvers Klarheit zu schaffen; zu weiteren Versuchen in grösserem Massstabe hoffe ich die Erlaubnis des Herrn Kriegsministers zu erhalten.

„Mit doppelt-chromsaurem Kali ergiebt das Ammoniumpikrat ein Pulver, welches mir wenig brisant zu sein schien; es lässt aber einen bedeutenden, aus kohlensaurem Kali und Chromoxydul bestehenden Rückstand zurück, und ich habe keine Schiessversuche damit gemacht.

„Mischt man

25 Teile Ammoniumpikrat mit
67 Teilen Bariumnitrat und
8 Teilen Schwefel,

so erhält man ein sehr langsam und allmählich verbrennendes Pulver, dessen Verbrennungsgeschwindigkeit 0,040 m beträgt, also zwanzigmal geringer ist, als die gewöhnlichen Pulvers. Seine Flamme ist lebhaft und zeigt eine schöne grüne Färbung, so dass es als Farben- oder als Leuchtfeuer dienen könnte; es giebt beim Verbrennen nur geringen und geruchlosen Rauch.“

Dass der beim Schiessen mit Brugère-Pulver entstehende Rauch keine festen Explosionsprodukte enthielt, dass diese vielmehr vollständig im Rohre zurückblieben, wie der Erfinder in 4.—6. meint, ist wohl mehr als unwahrscheinlich; doch muss er wegen der weit geringeren Menge der festen Produkte gleich im ersten Augenblick geringer und wegen der

[1]) Die aus Papier bestehende Patronenhülse des Chassepot-Gewehres war nicht steif, musste daher ganz ausgefüllt werden, damit das Geschoss und der die von einer Nadel anzustechende Zündmasse haltende Patronenboden im Ladungsraume ihre richtigen Plätze einnahmen. (Anm. d. Verf.)

Abwesenheit von Schwefel weniger zähe gewesen sein, als der von gewöhnlichem Schwarzpulver. Das vom Erfinder aufgestellte Zersetzungsschema dürfte kaum richtig sein; da die Verbrennung des Brugère'schen Pulvers eine sehr unvollständige ist (eine vollständige würde 56,8 % Salpeter und 43,2 % Ammoniumpikrat erfordern), so lassen sich über die Zersetzung und Wärmeentwickelung theoretisch keine stichhaltigen Vermutungen anstellen; doch habe ich durch Versuche bestätigt gefunden, dass es in Gewehren ballistisch etwa doppelt so stark wirkt, als Schwarzpulver; die Brisanz war entschieden geringer, als die der besten Chloratpulver, eine chemische Einwirkung auf das Waffenmetall nicht zu bemerken, und die Hygroskopizität immerhin geringer, als die von Ammoniumnitratpulvern. Wie die beiden eben genannten anderen Arten älterer rauchschwacher Schiesspräparate sind aber heute auch die Pikratpulver durch neuere Erfindungen weit übertroffen und dürften kaum mehr je in der Praxis eine Rolle spielen.

V.

Xyloidine.

Mit organischen Substanzen von der Zusammensetzung $C_{6x}H_{10x}O_{5x}$ (Holzfaser, Baumwolle, Stärke) bildet die Salpetersäure, je nachdem sie diese Substanzen auflöst oder ohne Zerstörung ihrer organischen Struktur auf sie einwirkt, zwei Reihen von Verbindungen, die ihrem Gehalt an Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff nach zum teil oder durchweg zusammenfallen, aber besonders in ihrem — für die praktische Verwendung als Explosivstoffe äusserst wichtigen — Verhalten gegen Feuchtigkeit und Wärme erhebliche Abweichungen zeigen. Die unter Wahrung der organischen Struktur (meistens aus Baumwolle) bereiteten heissen Schiessbaumwollen, Nitrocellulosen oder Pyroxyline, die Auflösungsprodukte (meistens aus Stärke, die sich in Salpetersäure leicht löst, hergestellt) werden am zweckmässigsten unter dem Namen „Xyloidine“, den ihnen ihr Erfinder gegeben hat, zusammengefasst.

Der Chemiker Braconnot in Nancy untersuchte im Jahre 1832 zuerst die Einwirkungen, welche einerseits verdünnte, andererseits konzentrierte Salpetersäure auf unorganische Substanzen äussert, und dehnte dann die Untersuchungen auch auf organische Stoffe aus. Die Ergebnisse veröffentlichte er im LII. Bande (1833) der „Annales de Chimie et de Physique“, S. 290 ff.:

„. . . Man hat gesehen, dass die Schwefelsäure im konzentrierten Zustande im allgemeinen weniger stark auf unorganische Stoffe einwirkt, als im verdünnten. Es scheint mir, dass für ihre Einwirkung auf Pflanzenstoffe dasselbe zutrifft; und man kann in dieser Art aus einem und demselben Pflanzenstoffe zwei sehr verschiedene Produkte erhalten, ganz, als ob man es mit zwei ganz verschiedenen Säuren zu thun hätte. Um das zu beweisen, brauche ich nur eine neue Substanz zu beschreiben, welche ich durch die Einwirkung konzentrierter Salpetersäure auf mehrere in der Natur vorkommenden Pflanzenstoffe erhalten habe.

„Es ist bekannt, dass verdünnte Salpetersäure Kartoffelstärke in eine schleimige, in Wasser leicht lösliche Flüssigkeit auflöst. Ein ganz anderes Resultat ergiebt konzentrierte Salpetersäure.

„Ich löste 5 Gramm Stärke in einer genügenden Menge solcher Säure, und nachdem ich das Gemisch von Zeit zu Zeit umgerührt, verwandelte es sich auch in eine schleimige, ganz durchsichtige Flüssigkeit; hinzugesetztes Wasser liess diese aber zu einer käseartigen, weissen Masse gerinnen, welche zerdrückt, gut gewaschen und getrocknet genau 5 Gramm, wie die verbrauchte Stärke, wog.

„Die hauptsächlichsten Eigenschaften, welche ich an dieser Substanz bemerkt habe, sind folgende:

„Sie ist weiss, pulverförmig, ohne Geschmack und rötet Tournesolblau nicht.

„Bringt man sie mit Jodtinktur zusammen, so entfärbt sich diese und man erhält eine gelb gefärbte Masse.

„Das Brom hat auf sie keinen Einfluss. In kochendem Wasser wird sie weich und ballt sich zusammen, löst sich aber durchaus nicht. Ebenso wenig löst sie sich, in 1 Gewichtsteil Schwefelsäure und 2 Teilen Wasser gekocht; aber mit konzentrierter Schwefelsäure erhält man eine völlig ungefärbte Lösung, aus der Wasser nichts ausfällt, und welche einen gummiartigen Stoff enthält. Konzentrierte Salzsäure löst, namentlich bei mässiger Wärme, die neue Substanz leicht; ein Zusatz von Wasser fällt aber diese unverändert aus.

„In gewöhnlicher, verdünnter Salpetersäure löst sie sich in der Kälte leicht auf; Wasser und Alkalien rufen aus dieser Lösung, welche abgedampft Oxalsäure, aber keine Schleimsäure giebt, einen starken Niederschlag hervor.

„Von allen Pflanzensäuren scheint die konzentrierte Essigsäure die einzige zu sein, die auf den untersuchten Stoff einwirkt; sie löst ihn, namentlich in der Wärme, leicht, und kann sogar eine solche Menge davon aufnehmen, dass sich ein dicker Schleim bildet, welcher im Wasser zu einer weissen, harten Masse gerinnt; trocknet man aber den Schleim in gelinder Wärme, so lässt er eine firnisartige Substanz zurück, die nicht weniger farblos ist, als weisses Glas, und welche ihre Durchsichtigkeit auch im Wasser bewahrt; ich habe auch versucht, daraus kleine Mikroskoplinsen herzustellen. Dieser saure Schleim lässt, auf Papier oder auf einen beliebigen anderen Körper gestrichen, einen sehr schönen, firnisartigen Überzug zurück, welcher einem ähnlichen aus dem besten Gummi gegenüber den grossen Vorzug hat, dem Wasser vollkommen zu widerstehen.[1]) Leinwand, welche man mit dem gleichen Schleim tränkt, bewahrt die erworbene Steife und Undurchnässlichkeit selbst in kochendem Wasser. Diese Eigenschaften eröffnen einen Ausblick auf die Vorteile, welche diese neue Substanz den Künsten bieten kann. Im übrigen löst kochender gewöhnlicher Holzessig sie auf; nur trübt sich eine solche Lösung etwas beim Erkalten. Ammoniak löst die neue Substanz nicht, ebensowenig Ätzkalilauge; sie ballt sich darin zusammen und wird durchsichtig; durch Kochen aber erhält man endlich eine bräunliche Lösung, aus der Säuren die Substanz etwas verändert ausfällen; denn sie wird dann in kochendem Wasser, obgleich sie sich auch nicht auflöst, viel leichter weich und sieht nach dem Trocknen wie durchsichtiger Gummi

---

[1]) Diese Eigenschaft des Xyloidins hat Melland für sein Schiesspapier benutzt. (Anm. d. Verf.)

aus, anstatt mattweiss zu erscheinen. Kochender Alkohol scheint nur wenig einzuwirken; doch wird die alkoholische Flüssigkeit beim Abkühlen etwas milchig.

„Setzt man die Substanz der Wärme aus, so entzündet sie sich sehr leicht; man braucht sie sogar nur auf einem Kartenblatt zu erhitzen, damit sie sogleich verkohlt, nachdem sie begonnen flüssig zu werden, ohne dass der erhitzte Teil der Karte erheblich beschädigt erschiene. In einer kleinen Glasretorte destilliert, lässt sie etwa $^1/_6$ ihres Gewichts an einer Kohle zurück, welche schwer verbrennlich ist, wie die aus Stärke, und ergiebt ausserdem eine bräunliche Flüssigkeit, die viel Essigsäure enthält.

„Die Färbung einer Lösung von Indigosulfat in mehr oder weniger Wasser ändert die neue Substanz nicht und wird auch selbst von ihr nicht merklich blau gefärbt. Auch mit Eisensulfat verbindet sie sich nicht.

„Es ist mir schwer geworden, die Substanz passend zu benennen; da sie mir mit der Holzfaser etwas zu thun zu haben scheint, wird vielleicht der Name ‚Xyloidin' für sie passen. Man wird gleich sehen, dass mehrere anderen Pflanzenstoffe durch Lösung in konzentrierter Salpetersäure in dieselbe Substanz übergeführt werden können.

„Sägespäne von Holz quellen in konzentrierter Salpetersäure auf und werden weich, ohne sich in der Kälte zu lösen; erhöht man aber die Temperatur, so zeigt sich bemerkenswerterweise kein Aufwallen, und man erhält schnell eine schleimige Lösung von solcher Dicke, dass sie bei der Abkühlung fest wird; Wasser fällt daraus reichlich ganz dieselbe Substanz aus, die ich aus der Stärkeauflösung erhalten habe. Baumwolle und Leinwand, die man mit derselben Säure erhitzt, lösen sich darin in gleicher Weise ohne sichtbare Reaktion, und werden ebenfalls in Xyloidin verwandelt; Rohrzucker, Mannit, Milchzucker aber geben keines; es bildet sich aus diesen Stoffen nur ein bitteres Produkt, welches ich nicht untersucht habe. Tragantgummi, arabischer Gummi, Inulin und Saponin, welches ich in der Rinde des Gymnocladus Canadensis gefunden habe, gehen unter dem Einfluss konzentrierter Salpetersäure in Xyloidin über; nur findet sich dann neben diesem eine bittere Substanz, welche vielleicht andeutet, dass diese Gummiarten eine Art Zucker enthalten.

„Das Pektin löste sich in konzentrierter Salpetersäure in einen Schleim auf, aus dem Wasser eine in schwacher Ammoniaklösung völlig lösliche Substanz, die sich als Pektinsäure erwies, reichlich ausfällte. Aus Gummi, welchen ich aus Leinwandlappen mit konzentrierter Schwefelsäure bereitete, konnte ich kein Xyloidin erhalten, ebenso wenig aus arabischem Gummi, den ich vorher mit der gleichen Säure behandelt, was mir merkwürdig erschien. Leinsamenschleim gab nur wenig davon."

Die Versuche Braconnot's wiederholte und ergänzte in den nächsten Jahren Pelouze in Paris, ohne jedoch, wie aus seinem Bericht an die dortige Akademie hervorgeht, wesentliche Fortschritte zu erzielen.

„Herr Braconnot" — sagt Pelouze am 15. Oktober 1838 — „hat vor einigen Jahren die Beobachtung gemacht, dass die konzentrierte Salpetersäure mehrere Stoffe, und namentlich die Stärke und die Holzfaser, in einen neuen

Stoff, den er Xyloidin nannte, verwandelt. Um dieses zu bereiten, mischt man Stärke mit einem mehrfachen ihres Gewichts an Salpetersäure und fügt, nachdem sich alles gelöst hat (lorsque le mélange est entièrement dissous) Wasser hinzu, welches sogleich das Xyloidin in der Gestalt eines weissen Niederschlages ausfällt, der nur noch gewaschen und getrocknet zu werden braucht, um rein zu sein."

Es folgt dann die Bemerkung, dass das Ausfällen des Xyloidins sofort nach vollendeter Lösung zu erfolgen habe; denn je länger man die letztere stehen lasse, desto geringer der Xyloidin-Niederschlag, bis man nach einigen Tagen, und manchmal nach einigen Stunden, überhaupt keinen Niederschlag mehr erhalte; und zum Schluss heisst es:

„Ich habe bereits gesagt, dass das Xyloidin durch eine Verbindung der Stärke mit den Elementen der Salpetersäure entsteht; es ist gewissermassen ein Salz, in welchem die Stärke der Salpetersäure gegenüber die Basis darstellt; daher ist es auch sehr leicht brennbar (très combustible): bei einer Temperatur von 180° C. entzündet es sich und verbrennt fast ohne Rückstand und sehr lebhaft. Dieser eigentümliche Umstand hat mich zu einem Versuche geführt, welcher, wie ich glaube, in verschiedenen Richtungen, und besonders für die Artillerie von Nutzen sein kann. Taucht man Papier in Salpetersäure von 1,5 spec. Gew. und lässt es darin liegen, bis es durchweicht ist, was gewöhnlich nach 2 oder 3 Minuten der Fall, nimmt es heraus und wäscht es mit vielem Wasser, so erhält man eine Art undurchnässliches und sehr leicht verbrennliches Pergament (une espèce de parchemin impermèable à l'humidité et d'une extrême combustibilité). Dasselbe geschieht mit Leinen- und Baumwoll-Geweben.

„Das Papier oder die Gewebe, die so der Einwirkung der Salpetersäure unterworfen worden sind, verdanken ihre neuen Eigenschaften dem Xyloidin, welches sie bedeckt."

Dass das im letzten Satze ausgesprochene Urteil ganz richtig ist, und dass auch Pelouze im Jahre 1838 durch die Nitration von Papier und Pflanzenfaser-Geweben keine Schiessbaumwolle erhielt, geht aus der Charakterisierung der Produkte als pergamentartig und undurchnässlich zur Genüge hervor. Wenn Pelouse später die Priorität der Erfindung der Schiessbaumwolle für sich in Anspruch nahm, da seine am 15. Oktober 1838 öffentlich beschriebenen nitrierten Papiere und Zeuge im Gegensatz zum Braconnot'schen Xyloidin nicht Auflösungsprodukte, sondern in der Faserstruktur unverändert gewesen, so müssen ihn seine eigenen Worte entgegengehalten werden.

Ob beim Einwirken von Salpetersäure auf vegetabilische Substanzen von der Zusammensetzung $C_{6x}H_{10x}O_{5x}$ Lösung eintritt oder nicht, scheint — erforscht ist dieser Gegenstand leider nur sehr wenig — wesentlich von der Dichte der zu nitrierenden Körper abzuhängen. Auch beim Nitrieren loser Baumwollwatte löst sich immer etwas; bei weitem das

meiste wird aber, wenn überhaupt Nitration erfolgt, Schiessbaumwolle, welche nach dem Auswaschen und Trocknen ganz ebenso aussieht, wie die ursprüngliche Baumwolle; selbst nicht besonders dichte und starke Papiere und aus Pflanzenfaser gewebte Stoffe pflegen aber, mit Salpetersäure allein oder in Verbindung mit Schwefelsäure in Berührung gebracht, an den Oberflächen zu Schleim aufgelöst zu werden, bevor die Säure auf die Mittelschicht gehörig eingewirkt hat. Diese Erfahrung musste erst neuerdings der namentlich um die Entwickelung des Nitroglycerins verdiente amerikanische Chemiker G. M. Mowbray machen. Im Jahre 1890 meldete er Patente auf ein Verfahren an, durch welches es möglich sein sollte, Schiessbaumwolle ohne jede Unterbrechung im Betriebe herzustellen. Zu diesem Zwecke sollte (nach D. R. P. 59929) dünnes endloses Baumwollpapier durch das nitrierende Gemisch von Salpetersäure und Schwefelsäure, dann durch Waschflüssigkeiten hindurch geleitet werden. In einem noch in demselben Jahre angemeldeten anderen Patent Mowbray's (D. R. P. 60595) wird das Verfahren dahin abgeändert, dass das Papier zunächst mit 10 Teilen salpetersaurem Natron imprägniert und dann erst in die Nitriersäuren eingeführt wird, damit während der Nitrieroperation im Inneren des Papiers aus dem salpetersauren Natron durch die Schwefelsäure entwickelte Salpetersäure die Nitrierung unterstütze.[1])

„. . . weil (bei dem früheren Verfahren) in dem Augenblick als das Papier mit dem Säurebad in Berührung kommt, dessen Oberfläche klebrig oder gallertartig wird und dadurch die vollkommene Umwandlung des Papiers, so dünn auch dasselbe ist, verhindert, weshalb auch ungefähr $^1/_2$ Stunde Zeit erforderlich ist, um die Umwandlung auf eine Dicke von nur $^1/_{20}$ mm durchführen zu können. Während des Eintauchens in die Säuren nimmt das Papier beiläufig 40 % Salpetersäure auf, nach beendigter Operation ist sein Volumen jedoch kleiner, als vor dem Eintauchen, so dicht und pergamentartig ist es geworden. Diese Eigenschaft des dünnen in Nitrocellulose verwandelten Häutchens schützt das Papier unter der Oberfläche vor der chemischen Einwirkung“ u. s. w.

Pelouze hatte die Erfindung der Schiessbaumwolle nahe genug gestreift, er war aber nicht auf sie gestossen. Und auch der Ruhm, das von Braconnot entdeckte Xyloidin zuerst als Ersatz für das alte Pulver vorgeschlagen zu haben, wird ihm nur mit Unrecht von einigen zugesprochen; als er im Jahre 1846 in mehreren der Pariser Akademie eingereichten Notizen eine Identität seiner Erfindungen vom Jahre 1838 mit Schönbein's Schiessbaumwolle, nicht mit Braconnot's Xyloidin nachzuweisen versuchte, erklärte er zugleich, an einen Ersatz des alten Pulvers

---

[1]) Es bildet sich übrigens, wenn aus salpetersauren Salzen freiwerdende Salpetersäure in statu nascendi auf Pflanzenfaser einwirkt, stets niedrig nitrierte Cellulose; wahrscheinlich eine Folge der gleichzeitig stattfindenden Wärmeentwickelung.

nicht gedacht zu haben, dieses Verdienst komme Schönbein zu (je dois me hâter de le dire, je n'avais pas pensé un seul instant à l'employer dans les armes au lieu de poudre; c'est à M. Schönbein que le mérite de cette application revient tout entier [Ber. der Pariser Akademie Bd. XXIII, S. 810]), und bestätigte die in Dumas' drei Jahre früher erschienenem Lehrbuch der Chemie veröffentlichte Angabe, er hätte an Kartuschen aus seinem Papier oder Stoff gedacht (M. Dumas, à la page 12 du VI[e] volume de son Traité de Chimie, publié en 1843, rapportant mes expériences, dit qu'elles m'ont suggéré l'idée, que j'avais en effet soumise à notre honorable confrère, d'appliquer à la confection des gargousses pour l'artillerie des enveloppes de coton et de papier combustibles [a. a. O. S. 901]). Es war der österreichische Oberst v. Uchatius, welcher zuerst ein durch Auflösen von Stärke in konzentrierter Salpetersäure erhaltenes Nitrationsprodukt neben und im Vergleich mit Pyroxylinen als Schiesspräparat versuchte und dabei die bereits im Kapitel II (S. 58) genannten Ergebnisse erhielt. Bei der Herstellung seiner Nitrostärke wandte er die seit der Erfindung der Schiessbaumwolle bei Nitrationen allgemein üblich gewordene Entwässerung durch konzentrierte Schwefelsäure an und benutzte zugleich die Eigenschaft der Schwefelsäure, das Xyloidin aus der Lösung in Salpetersäure auszufällen. Er sagt in Dingler's Polytechnischem Journal von 1861, S. 146—147:

„. . . . Man löst 1 Gewichtsteil trockener Kartoffelstärke in 8 Teilen konzentrierter rauchender Salpetersäure bei gewöhnlicher Zimmertemperatur auf, indem beide Bestandteile in eine Flasche gebracht und öfter umgeschüttelt werden. Nach einer Stunde ist gewöhnlich die Lösung vollständig erfolgt. Diese Lösung giesst man in dünnem Strahle in 16 Gewichtsteile konzentrierte englische Schwefelsäure, unter lebhaftem Umrühren mit einem Glasstabe, wobei sich das Präparat in fein zerteiltem Zustande ausscheidet und mit dem Säurengemische zusammen einen dünnen Brei bildet. Nach Verlauf von 12 Stunden giesst man den Brei in das wenigstens achtfache Volumen Wasser, wäscht das Pulver durch Dekantieren so lange mit Wasser aus, bis blaues Lackmuspapier davon nicht mehr gerötet wird, bringt es mit hinreichender Menge Wasser, und soviel kohlensaurem Natron als dem vierten Teile des Gewichts der angewandten Stärke entspricht, in ein Kochgefäss, und hält es während einer Stunde im Kochen.

„Man giesst hierauf die braune Lauge ab, kocht und wäscht das Pulver noch einige Male mit Wasser aus, und trocknet es bei einer Temperatur zwischen 50 und 60° C.

„Auf diese Art erhält man einen wahrscheinlich dem Xyloidin nahestehenden[1]) Körper, in Form eines zarten Pulvers, welches im Wasser und

---

[1]) „Wahrscheinlich mit ihm identischen" bemerkt zu diesen Worten mit Recht der Referent in Wagner's Jahresbericht über die Fortschritte und Leistungen der chemischen Technologie, 1861, S. 234. (Anm. d. Verf.)

Weingeist nicht, in Äther leicht löslich ist, und nach dem Eintrocknen der Lösung als eine spröde gummiartige Substanz zurückbleibt. Bei Berührung mit einem glimmenden Holzspane oder bei Erhitzung bis auf 175° C. brennt es rasch ab, ohne einen Rückstand zu hinterlassen.

„Mit dem Hammer auf eiserner Unterlage geschlagen, explodiert der getroffene Teil, durch Reibung ist es sehr schwer zu entzünden.

„In Staubform in ein Gewehr geladen, reicht 1 Gramm hin, um einen ebenso kräftigen Schuss hervorzubringen, wie selber sonst mit 3,5 Grammen gewöhnlichen Pulvers hervorgebracht wird.

„Auch die Körnung ist möglich, entweder indem man das Pulver mit einer Mischung von gleichen Teilen Schwefeläther und Weingeist zu einem Teige abknetet und letzteren durch ein Sieb reibt, oder indem man aus dem trockenen Pulver dünne Platten presst, diese zerkleinert und aussiebt.

„Ungeachtet dessen dürfte es nicht leicht gelingen, diesen Körper für sich allein als Schiessmittel anzuwenden, da er, so wie unter gewissen Umständen auch die Schiesswolle, zweierlei Arten der Verbrennung unterliegt, wovon die eine von voluminöser, gelb gefärbter Flamme, hoher Temperatur und starker geruchloser Gasentwickelung, die andere, welche beinahe unsichtbar stattfindet, von niedriger Temperatur und schwacher, nach den Zersetzungsprodukten der Salpetersäure riechender Gasentwickelung begleitet ist.

„Nur wenn die erstere, vollkommene Verbrennung eintritt, ist eine hinreichende ballistische Wirkung vorhanden, im letzteren Falle hingegen werden die Projektile mit schwachem Geräusch auf kurze Distanz hinausgeworfen, und ist kein Feuerstrahl sichtbar.

„Ob es möglich sein wird, die vollkommene Verbrennung jedesmal sicher zu stellen, so wie auch die jetzt noch in zu grossem Masse vorhandene rasche Wirkung zu mildern, werden die weiteren Versuche zeigen.

„Im Falle des Gelingens stände die Auffindung eines Schiessmittels in Aussicht, welches wegen seines äusserst geringen Rückstandes bei der fast allgemein gewordenen Anwendung von Präzisionsgewehren und gezogenen Kanonen als ein Bedürfnis gefühlt wird.“

Hätte v. Uchatius, anstatt für das Körnen nur entweder das Benetzen mit einem Lösungsmittel, oder das Pressen, beides vereint angewandt, so wäre die „in zu grossem Masse vorhandene rasche Wirkung“ in einer wahrscheinlich auch die Entwickelung der Schiessbaumwolle um ein Vierteljahrhundert beschleunigenden Weise beseitigt, und auch der zweite Fehler der Nitrostärke wenigstens gemildert worden. In neuester Zeit hat man gefunden, dass wie das Pyroxylin, so auch das Xyloidin durch Überführung in eine amorphe Masse und Verdichtung seiner übermässigen Brisanz entledigt werden kann; auch werden in Hohlräumen des nitrierten organischen Materials oft auch nach sorgfältigstem Auswaschen zurückbleibende und Zersetzungskeime darstellende Reste freier Säure und unstabile Nebenprodukte durch eine vollständige Auflösung des Nitrationsproduktes in

einem indifferenten Lösungsmittel stets wenigstens auseinandergeschwemmt und verdünnt, so dass die amorphisierten Produkte weniger dazu neigen, sich, namentlich bei etwas erhöhter Temperatur, zu zersetzen, Feuchtigkeit anzuziehen und in nur verglimmende, nicht treibkräftige Substanzen überzugehen.

Wie aus der S. 58 wiedergegebenen Tabelle hervorgeht, zeigte v. Uchatius' explosives Stärkemehl erst bei $7^3/_4$ Granen Ladung annähernd dieselbe Arbeitsleistung, wie verschiedene Pyroxyline bei $6^1/_2$—$7^1/_4$ Granen, es muss also wohl noch schwächer nitriert gewesen sein, als das schwächste der versuchten Proxyline. Über die höheren Salpetersäureäther der Stärke hat im Jahre 1892 O. Mühlhäuser sehr dankenswerte Untersuchungsergebnisse in Dingler's Polyt. Journal, Bd. CCLXXXIV, S. 137 ff., veröffentlicht.[1]) Im angeführten Titel ist ausgedrückt, dass Mühlhäuser in Übereinstimmung mit den Ergebnissen der eingehendsten früheren Forschungen in den explosiven Substanzen, welche die Einwirkung von Salpetersäure auf Stärke entstehen lässt, keine eigentlichen Nitroprodukte, Verbindungen mit NO_2, sondern Salpetersäureäther, Verbindungen mit NO_3, gefunden hat. Die Kriterien sind die gleichen, wie die für die Schiessbaumwolle zum Unterschied von der Pikrinsäure genannten. Die höchst nitrierte Stärke enthält, wie die Schiessbaumwolle der höchsten Nitrationsstufe, soviel NO_3, dass sich ihre Zusammensetzung unter der Annahme, dass Stärke, wie Baumwollzellstoff, $C_6H_{10}O_5$ ist, als $C_6H_7O_2(NO_3)_3$ darstellt. Thatsächlich dürften die Formeln der Stärke und des Zellstoffes vielfache der eben genannten, und die Reihen der Salpetersäureäther sehr lang sein (vgl. Berthelot a. a. O. Bd. II, S. 28 und 30); wenigstens müssen aber, nachdem Eder für die Baumwollcellulose und Mühlhäuser für die Stärke die Existenz weder als Tri- noch als Dinitrate zu bezeichnender Nitrationsstufen nach-

[1]) Nur dem Eingang des „Geschichtlichen" in der zitierten Abhandlung kann ich nicht beistimmen. Mühlhäuser sagt: „Entdeckt wurde die Nitrostärke im Jahre 1833 von Braconnot. Dieser Chemiker verstand unter ‚Xyloidine' alle jene in Wasser unlöslichen Verbindungen, welche er durch Einwirkung von Salpetersäure auf Stärke, Lignin, Gummi u. s. w. bekam und die er für identisch hielt. Der Glaube an die Identität jener Stoffe fiel mit der Entdeckung der Schiessbaumwolle durch Schönbein. Seitdem behielt man den Namen Xyloidin nur für das aus Stärke mit konzentrierter Salpetersäure bereitete Produkt bei." Allerdings sind aller Wahrscheinlichkeit nach Stärke, Lignin, Gummi u. s. w., und infolgedessen auch ihre Derivate gleichen NO_3-Gehalts, nicht chemisch identisch; mit Schönbein's Entdeckungen, die im nächsten Kapitel zu behandeln sein werden, hat das aber nichts zu thun. Braconnot's Produkte gehörten insofern einer einheitlichen und von der Schiessbaumwolle und ihrer Verwandtschaft deutlich verschiedenen Klasse an, als sie Produkte einer Auflösung in Salpetersäure waren, und ihnen allen, nicht nur der durch Auflösung bereiteten Nitrostärke, kommt nach Pelouze's zweckmässigem und von vielen Seiten angenommenen Vorschlag (Ber. der Pariser Akademie Bd. XXIII, S. 893) der Name „Xyloidine" im Gegensatz zu den ohne Auflösung und Zerstörung der ursprünglichen Struktur nitrierten „Pyroxylinen" zu.

gewiesen haben, die in Frage stehenden Formeln zu $C_{12}H_{20}O_{10}$ verdoppelt und die höchsten Nitrationsprodukte als Hexanitrate bezeichnet werden, was auch neuerdings meistens geschieht.

Ein nur mit geringer Menge niedriger nitrierter Stärke vermengtes Hexanitroprodukt erhielt Mühlhäuser in folgender Weise:

40 g trockene Stärke wurden bei gewöhnlicher Temperatur innerhalb einer halben Stunde in 400 g Salpetersäure von 1,501 spec. Gew. eingetragen, umgerührt und in einem langen Cylinder 24 Stunden abstehen gelassen. Dann wurden der Lösung 220 g entnommen und während 15 Minuten in 600 kbcm Schwefelsäure von 66° B. eingerührt. Dabei schied sich ein weicher, thonerdeähnlicher Niederschlag aus. Nach dem Einrühren liess man die Masse eine halbe Stunde lang stehen; dann wurde sie in viel Wasser eingerührt. Nach dem Absitzen wurde der weisse Niederschlag auf einem Filter gesammelt, mit viel Wasser ausgewaschen, mit einigen Tropfen Sodalösung behandelt, filtriert, gepresst und getrocknet. Ausbeute 26 g = 120 %.

Das schneeweisse Pulver gab folgende Resultate bei der Stickstoffbestimmung:

1. 0,270 g gaben 62 kbcm NO bei 8° C. und 737 mm Barometerstand; in Procenten

   13,52 N.

2. 0,265 g gaben 60,5 kbcm NO bei 13° C. und 737 mm Barometerstand; in Procenten:

   13,23 N.

3. 0,272 g gaben 61,5 kbcm NO bei 10° C. und 736 mm Druck; in Procenten:

   13,22 N.

Der Stickstoffgehalt näherte sich also sehr dem bei reiner höchstnitrierter Stärke zu erwartenden von 14,14 %.

In Stanniol eingewickelt und auf einer eisernen Unterlage mit einem Hammer geschlagen, explodierte das Produkt. Bei + 60 bis 70 C. zeigte seine Einwirkung auf Jodkaliumstärkepapier beginnende Zersetzung an. Der Flammpunkt lag bei 155° C. Es war weder in 96procentigem Weingeist, noch in Äther löslich, löste sich dagegen leicht in Ätheralkohol, Aceton, Nitrobenzol und Essigäther. In kalter Schwefelsäure löste es sich bei weitem nicht so leicht, wie in derselben Säure bei + 60° C. Beim Erwärmen der klaren Schwefelsäurelösung auf 100° C. schlug die Färbung in rotbraun um, und es entwickelte sich Gas. Konzentrierte Salpetersäure löste das Produkt leicht, nicht aber kalte Salzsäure; beim Erwärmen mit dieser ging es schliesslich unter Entwickelung von Chlor in Lösung. In konzentrierter Natronlauge fand Lösung mit gelber Färbung statt.

Ein als Tetranitrostärke (rein mit 11,11 % N) zu bezeichnendes Stärke-Xyloidin bereitete Mühlhäuser zunächst nach der Methode von Béchamp (Annales de Chimie et de Physique, 1862, Bd. LXII, S. 311 ff.). Dieses Verfahren ist folgendes: Man löst 1 Teil bei 20° getrocknete Stärke in 12 Teilen konzentrierter Salpetersaure (den Gehalt giebt Bechamp nicht an), stellt die Lösung in eine Kältemischung und giesst rasch 8 Teile konzentrierte Schwefelsäure zu. Dann giesst man die Masse in viel kaltes Wasser und rührt stark durch, um Klümpchenbildung und Temperaturerhöhung zu vermeiden. Man filtriert und wäscht den Filterrückstand so lange mit Wasser aus, bis das Filtrat mit Chlorbarium keinen Niederschlag (von schwefelsaurem Baryt) mehr giebt. Nun trocknet man das weisse Pulver im Trockenschranke. 5 g bei 20° getrocknete Stärke, — welche 4,5 g bei 100° getrockneter Stärke entsprechen, — geben, nachdem man sie in 60 g konzentrierter Salpetersäure aufgelöst und 40 g konzentrierter Schwefelsäure hinzugesetzt, eine Ausbeute von 6,61 g Nitrostärke = 134,2 %. Ein mit denselben Mengen ausgeführter zweiter Versuch gab 6,73 g = 134,6 %.

Ein anderes Verfahren, dessen Eigentümlichkeit darin bestand, dass keine Schwefelsäure zur Verwendung kam, erfand Mühlhäuser selbst:

40 g bei 100° getrocknete Stärke wurden bei gewöhnlicher Temperatur innerhalb einer halben Stunde in 400 g Salpetersäure von 1,501 spec. Gew. eingerührt. Dann brachte man die Flüssigkeit in einen hohen Cylinder, um absitzen zu lassen. Nach mehrtägigem Stehen wurden 150 g Lösung unter Umrühren in kaltes Wasser gegossen. Es scheidet sich dann ein dem Chlorsilber ähnlicher Niederschlag ab, der sich rasch zu Boden setzt und leicht filtriert werden kann. Der Rückstand wurde vollständig ausgewaschen, mit verdünnter Sodalösung behandelt, endlich nochmals gewaschen, filtriert und bei 50 bis 60° getrocknet.

Die Analyse ergab:

1. 0,2555 g gaben 46,2 kbcm NO bei 12° C. und 742 mm Barometerstand; in Procenten:

   10,58 N.

2. 0,2560 g gaben 46,25 kbcm NO bei 14° C. und 743 mm Barometerstand; in Procenten:

   10,50 N.

Das Präparat war in Nitrobenzol, Aceton, Essigäther, Alkohol und Ätheralkohol sehr leicht, in Äther nicht löslich. Sein Flammpunkt lag bei 170° C.; Erwärmung bis 60 und 70° C. hielt es unverändert aus; auch bei der Lagerung zeigte es sich sehr stabil.

Ausser den Stärke-Xyloidinen untersuchte Mühlhäuser auch Nitrostärken, die durch Nitration von Stärke in einem Gemisch von Salpeter-

säure und Schwefelsäure ohne Auflösen dargestellt wurden, und unter dem Mikroskop die ursprüngliche Form der Stärke wenig verändert zeigten, so dass man z. B. leicht erkennen konnte, ob Kartoffel- oder Reisstärke das Ausgangsprodukt gewesen. — Solche Nitrostärke bereitete zuerst de Vrij in Rotterdam gegen das Ende des Jahres 1846, in welchem die Schiessbaumwolle bekannt wurde, und bezeichnete sie nach Pelouze's Nomenklatur korrekt im Gegensatz zum Lösungsprodukt Stärkexyloidin als Stärkepyroxylin (Ber. der Pariser Akademie Bd. XXIV, S. 19: „L'amidon, qui, traité par l'acide nitrique monohydrate, se gonfle en se transformant en xyloidine, ne se gonfle pas du tout dans un mélange à volumes egaux d'acides nitrique et sulfurique, mais se transforme en pyroxyline, qui a toutes les propriétes du coton traité de la même manière"). Die Schiessbaumwolle, mit der das Produkt durchaus gleiche Eigenschaften zeigen soll, war eine sehr hoch nitrierte, in Aceton lösliche. — Mühlhäuser's Verfahren zur Herstellung von Stärkepyroxylin ist folgendes:

20 g bei 100° getrocknete Stärke trägt man in Portionen innerhalb 15 Minuten in ein Gemisch von 100 g Salpetersäure von 1,501 spec. Gewicht und 300 g Schwefelsäure von 1,8 spec. Gewicht unter Umrühren ein. Dabei steigt die Temperatur allmählich auf 25° C. Man rührt nach dem Eingeben der Stärke noch so lange, bis alle Klümpchen zerdrückt und fein verrührt sind. Dann lässt man die Mischung 1 Stunde stehen, giesst sie in viel kaltes Wasser, lässt absitzen, filiriert, wäscht mit viel Wasser aus, neutralisiert mit verdünnter Sodalösung, wäscht nochmals mit Wasser, filtriert und trocknet bei 50 bis 60°. Die Ausbeute beträgt 29,5 g = 147,5 %.

10 g Produkt wurden am Rückflusskühler mit 120 Teilen Ätheralkohol (2 T. Äther auf 1 T. Alkohol) erwärmt. Darauf wurde der Äther im Wasserbade abdestilliert und der Rest der Flüssigkeit durch Filtrieren und Nachwaschen mit Alkohol von dem durch die Abdunstung des Äthers Ausgefällten getrennt. Das letztere ergab, gepresst und bei 50 bis 60° getrocknet, bei der Analyse folgende Zahlen:

1. 0,2535 g Substanz gaben 55 kbcm NO bei 14° C. und 750 mm Barometerstand; in Procenten:

   12,76 N.

2. 0,2610 g gaben 58 kbcm NO bei 15° C. und 748,5 mm Barometerstand; in Procenten:

   12,98 N.

Mit 12,75 % N wäre das Präparat als reine Pentanitrostärke zu bezeichnen. Der Flammpunkt lag bei 160° C., also 5° höher als beim höchstnitrierten Produkt; bei 60 bis 70° zeigte aber blaue Fäbung von

Jodkaliumpapier ebenfalls beginnende Zersetzung an. Das Produkt war in Aceton, Essigäther, Nitrobenzol, Ätheralkohol löslich, in Alkohol und in Äther unlöslich. In konzentrierter Schwefelsäure löste es sich bei Wasserbadtemperatur zu einer braunroten Flüssigkeit auf, welche Salpetersäuredämpfe entwickelte; auch in kalter Schwefelsäure erfolgte aber Lösung und Bildung von Stärkeschwefelsäure. Wasser schied aus der Lösung keinen Niederschlag aus. In konzentrierter Natronlauge erfolgte Lösung mit gelbroter Farbe. Aus leicht erfolgter Lösung in konzentrierter Salpetersäure fällte Wasser das unveränderte Produkt aus, welches sich in Salzsäure unter Entwickelung von Chlor löste.

Aus dem abfiltrierten Alkohol setzte sich nach Wasserzusatz ein weisser Niederschlag ab, welcher, gewaschen und getrocknet, bei der Analyse folgende Zahlen ergab:

0,2635 g Substanz gaben 47,1 kbcm NO bei 16° und 748 mm Barometerstand; in Procenten:

10,45 N.

Demnach bezeichnete Mühlhäuser das Produkt als Tetranitrostärke. Eine vollständige Trennung dieser von der Pentanitrostärke konnte er schon aus dem Grunde nicht erwarten, da er die Angabe Béchamp's bestätigt zu finden glaubte, dass sich bei der Herstellung von Tetranitrostärke ausser dem in Alkohol löslichen Produkt meistens noch ein Isomeres, nur in Ätheralkohol lösliches bildet. Der Verfasser dieses erhielt bei vergleichenden Analysen der beiden Produkte, die nach Béchamp und Mühlhäuser in Alkohol lösliche und in Alkohol unlösliche Tetranitrostärke sein sollen, aus der in Alkohol unlöslichen Nitrostärke stets 0,11 bis 0,26 % mehr Stickstoff, so dass die Vermutung gestattet erschien, es handele sich nicht um Isomeren, sondern um verschiedene, allerdings einander sehr nahe Nitrationsstufen. Zutreffend wurde die Entdeckung Mühlhäuser's gefunden, dass Produkte von der Nitrationshöhe der Tetranitrostärke im kochenden Wasser zusammenbacken, höher nitrierte nicht; nur in einzelnen Fällen aber die Beobachtung, dass sich ohne Zuhülfenahme von Schwefelsäure hergestellte Präparate bei Erwärmung und längerer Lagerung in gewöhnlicher Temperatur weit stabiler erweisen, als solche, bei deren Herstellung Schwefelsäure angewandt wurde. Mühlhäuser hält für nicht unwahrscheinlich, dass eine geringere Stabilität der mit Schwefelsäure hergestellten Nitrostärken der Anwesenheit geringer Mengen von Verbindungen zuzuschreiben ist, die nitriert und sulfuriert sind, also neben NO_3- auch SO_3-Gruppen gebunden enthalten. Solche die Stabilität schädigenden Nebenprodukte sollen sich nicht bilden, wenn zwar Schwefelsäure angewandt wird, jedoch in so verdünntem Zustande, dass sie eine sulfurierende Wirkung nicht auszuüben vermöge. Daher sei auch ein

Produkt stabil, welches die „Aktiengesellschaft Dynamit Nobel“ in Wien nach einem ihr patentierten Verfahren darstelle. Das Verfahren wird im Deutschen Reichs-Patent No. 57711 folgendermassen beschrieben:

„Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Nitrostärke, welche vorteilhaft statt der bisher fast ausschliesslich verwendeten Nitrocellulosen als Aufsaugestoff für Nitroglycerin oder für Sprengmittel verwendet werden kann.

„Als Rohmaterial findet vorzugsweise Kartoffelstärke Anwendung, da diese in grossen Mengen und in grösstmöglicher Reinheit und gleichförmiger Beschaffenheit erhältlich ist. Doch eignen sich zur Ausführung des Verfahrens auch alle anderen Stärkesorten.

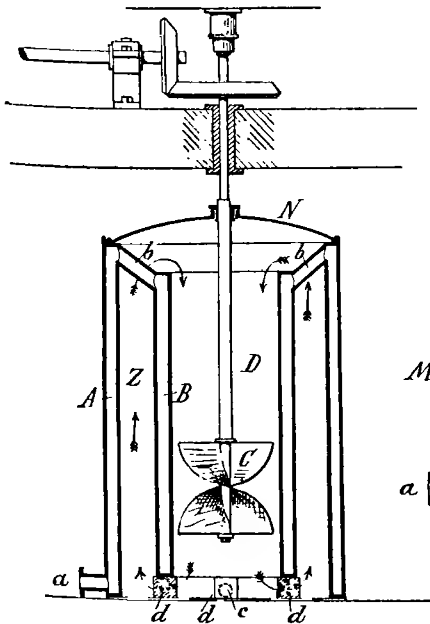


Abb. 15.

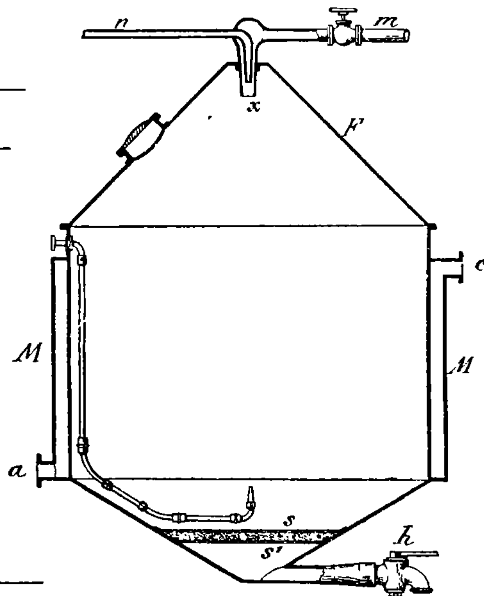


Abb. 16.

Apparate zur Herstellung von Nitrostärke der „Aktiengesellschaft Dynamit Nobel“ in Wien.

„Der Erfindung gemäss wird die Überführung der Stärke in Nitrostärke in der nachstehenden Weise durchgeführt.

„Die zur Verarbeitung gelangende Stärke wird zunächst bei 100° C. getrocknet und auf einer Mühle gemahlen, hierauf bei verminderter Temperatur (20 bis 25° C.) und unter beständigem Rühren in Salpetersäure von 1,501 spec. Gew., und zwar in dem Verhältnis von 10 kg Stärke auf 100 kg Salpetersäure gelöst.

„Zur Fällung der gelösten Stärke wird die Salpetersäurestärkelösung in eine Mischung von Schwefelsäure und Salpetersäure eingetragen und werden hierzu die Abfallsäuren der Nitroglycerinfabrikation benutzt, da durch Anwendung frischer Säuren die Fällung nicht verbessert, sondern bloss verteuert würde.

Die zur Anwendung kommende Abfallsäure enthält 70 % Schwefelsäuremonohydrat und 10 % Salpetersäuremonohydrat; sie wird im Verhältnis von 500 kg Säure auf 100 kg Stärkelösung mit letzterer dadurch gemischt, dass man die Salpetersäurestärkelösung bei einer Temperatur von 20 bis 25° C. in den die Abfallsäure enthaltenden Fällungsapparat mittelst einer Zerstäubervorrichtung in sehr fein verteiltem Zustande einführt, wodurch die Nitrostärke in Form eines feinen Mehles ausgefällt wird und auf ein Filter aus Schiessbaumwolle fällt, auf welchem sie liegen bleibt, während die Säure nach Beendigung der Ausfällung abgelassen wird und klar abläuft.

„Die nach dem Filtrieren zurückbleibende Nitrostärke wird von der anhaftenden Säure durch Abpressen befreit, was vorteilhaft in mit Siebböden versehenen Töpfen unter der hydraulischen Presse geschieht, worauf die erhaltenen Presskuchen unter kräftigem Rühren in Wasser eingetragen und bis zur neutralen Reaktion ausgewaschen werden. Der weiteren Behandlung mit 5 procent. Sodalösung durch 24 Stunden folgt dann das Mahlen im Kollergang.

„Hierdurch wird die Masse in einen milchartigen Brei verwandelt, der in einer Centrifuge ausgeschleudert oder in Filterpressen ausgewaschen und schliesslich mit einer Lösung von Anilin imprägniert wird, um die Nitrostärke zu stabilisieren. Dies geschieht in solchem Verhältnis, dass die ausgeschleuderte, ungefähr 33 % Feuchtigkeit enthaltende Masse 1 % Anilin enthält. In diesem Zustande wird die Nitrostärke bis zu ihrer weiteren Verwendung aufbewahrt.

„In der beiliegenden Zeichnung stellt Fig. 1[1]) einen Apparat zur Lösung von Stärke in Salpetersäure und Fig. 2[2]) einen Fällungsapparat dar.

„Der Lösungsapparat (Fig. 1) besteht aus einem Bleigefäss, welches mit einem äusseren und inneren Kühlmantel *A* und *B* versehen ist. Das Kühlwasser strömt bei *a* in die Mantelfläche *A* ein, geht durch die Röhre *b* in den inneren Kühlmantel *B* und fliesst durch ein Rohr *c* ab.

„Der innere Kühlcylinder *B* ruht auf den Thonunterlagen *d* auf; in seinem Innenraum *D* befindet sich ein Schraubenrührer *C*, welcher die Salpetersäure nach abwärts bewegt und sie zwischen den Thonunterlagen herausdrückt, so dass sie in dem Zwischenraum *Z* aufsteigt und beständig in der Pfeilrichtung einströmt. Die Stärke fällt durch eine Öffnung im Deckel *N* in den Innenraum *D*, wird mittelst der Schraube *C* in der Säure verteilt und löst sich in derselben.

Der zur Fällung verwendete Apparat (Fig. 2) besteht aus dem unten trichterförmig gestalteten Bottich *A*, welcher von einem Kühlmantel *M* umgeben ist; die Einströmung des Wassers erfolgt bei *a*, der Austritt bei *c*. Zwischen dem doppelten Siebboden *s* und *s*¹ ist Schiessbaumwolle eingelegt, welche als Filter für die eingeführte, aus Salpetersäurestärkelösung und Abfallsäure bestehende Masse dient. Wird nach vollendeter Operation der Hahn *h* geöffnet, so fliesst die Säure klar ab, während die Nitrostärke auf dem Siebboden liegen bleibt.

---

[1]) Abb. 15.

[2]) Abb. 16.

Der Apparat ist mit einem trichterförmigen Deckel *F* verschlossen, welcher mit Fenstern versehen ist, um den Verlauf des Prozesses beobachten zu können. Durch diesen Deckel wird mittelst des Zerstäubungsapparates *m n* die Salpetersäurestärkelösung bei *x* eingeführt. *m* ist das mit Ventil versehene Luftzuführungsrohr, *n* das Zuleitungsrohr für die Salpetersäurestärkelösung. Durch Öffnen und Schliessen des Luftventils und durch genaue Einstellung des Apparates ist man im stande, die Salpetersäurestärkelösung in die Form äusserst feiner Tröpfchen zu bringen und hierdurch eine feinkörnige, mehlartige Fällung der Nitrostärke zu erzielen.

Die in der oben beschriebenen Weise dargestellte Nitrostärke zeichnet sich durch besonders leichte Löslichkeit in Nitroglycerin und diesem verwandten Flüssigkeiten aus. In komprimiertem Zustande besitzt sie hohes specifisches Gewicht und wird hierdurch besonders für militärische Zwecke geeignet. Nitrostärke lässt sich in den verschiedensten Verhältnissen mit Nitrocellulosen abmischen, was sehr leicht und gleichförmig durch Mahlen der Mischungen im Ganzzeugholländer bewerkstelligt werden kann. In Nitroglycerin löst sich die Nitrostärke schon in der Kälte und wird zuerst zu einer leimartigen Masse, welche durch Zusatz von mehr und mehr Nitrostärke allmählich in eine wachsharte Masse verwandelt werden kann.

„In komprimiertem Zustande mit Nitrocellulosen gemengt oder mit salpetersauren und chlorsauren Salzen gemischt oder mit Nitroglycerin getränkt, sowie in ganz reinem Zustande ist die Nitrostärke in vieler Hinsicht für die Sprengtechnik und die damit verwandten Verwendungsarten von Vorteil.

„Durch die Zerstäubung von Salpetersäurelösungen der Kohlehydrate zum Zwecke der Ausfällung in Schwefelsäure in Form eines feinen Mehles wird die vollständige Reinigung der Nitrostärke und durch das Feinmahlen auf Kollergängen die vollständige Lockerung etwa noch an einander haftender Zellwände und demzufolge die vollständige Entsäuerung erreicht."

Die im letzten Absatz genannten Verbesserungen sind zweifellos geeignet, dem Produkt eine erhöhte Stabilität zu sichern; ob aber diese dann derjenigen guter Schiessbaumwolle gleichkommt, ist bisher wenigstens nicht bekannt. Im allgemeinen haben sich durch Lösung erhaltene Nitroprodukte (Nitrozucker, -Mannit, -Stärke, Cellulose-Xyloidin) stets als weniger stabil erwiesen, auch zeigten sie oft eine grosse Hygroskopizität, welche z. B. anscheinend der Hauptgrund der Misserfolge der v. Uchatius'schen Nitrostärke in Österreich war (vgl. Maresch-Maudry's Waffenlehre I. 103). Allerdings wird die Unstabilität, und noch mehr die Hygroskopizität durch die Gelatinierung, welche die genannte Fabrik bei ihren Stärkepulvern anwendet, ebenfalls vermindert. Im D. R. P. No. 51755 heisst es:

„Das rauchlose Schiesspulver, welches den Gegenstand der vorliegenden Erfindung bildet, besteht aus einem Gemenge von gelöster Nitrostärke mit Kali-

salpeter, Natronsalpeter, Barytsalpeter, Ammoniaksalpeter, pikrinsaurem Kali. Natron und Ammoniak, chlorsaurem Kali, Nitronaphtalin, Kohle.

„Versuche haben ergeben, dass sich Nitrostärke weit besser zur Herstellung rauchlosen Schiesspulvers eignet, als alle bisher hierzu vorgeschlagenen und verwendeten nitrierten Kohlehydrate, weil die Stärke durch das Nitrieren in eine strukturlose Masse verwandelt wird, welche eine viel grössere Löslichkeit besitzt und infolgedessen eine viel innigere Mischung mit den anorganischen oder organischen Stoffen gestattet.

„Die Herstellung des neuen gekörnten rauchlosen Schiesspulvers geschieht in folgender Weise:

„Die Nitrostärke wird in Mischtrommeln[1]) bei gleichzeitiger Einleitung von Dampf in nassem Zustande mit den oben angeführten anorganischen Salzen oder organischen Stoffen innig gemengt, worauf durch Erwärmen der Trommel das Gemenge bis auf einen Feuchtigkeitsgehalt von 30 bis 40 $^0/_0$ getrocknet wird.

„Aus der erhaltenen Masse werden Platten gepresst, die auf Brechapparaten bekannter Art in Körnerform zerkleinert werden. Je nachdem aus den Körnern Gewehrpulver, Kanonenpulver oder Sprengpulver erzeugt werden soll, kann man sie in der bisher bei der Pulverfabrikation gebräuchlichen Weise polieren, rauh, fein oder grob darstellen.

„Nachdem die Körner getrocknet sind, werden sie mit einem die Nitrostärke lösenden Mittel imprägniert. Solche Mittel sind bekanntlich Methylalkohol, Kampfer und andere; durch Versuche wurde jedoch festgestellt, dass sich eine Lösung von Nitrobenzol in Benzin, Äther, Chloroform oder dergleichen am besten eignet, weil eine geringe Menge Nitrobenzol in verdünnter Lösung dazu genügt, um verhältnismässig grosse Mengen Nitrostärke vollständig zu lösen.

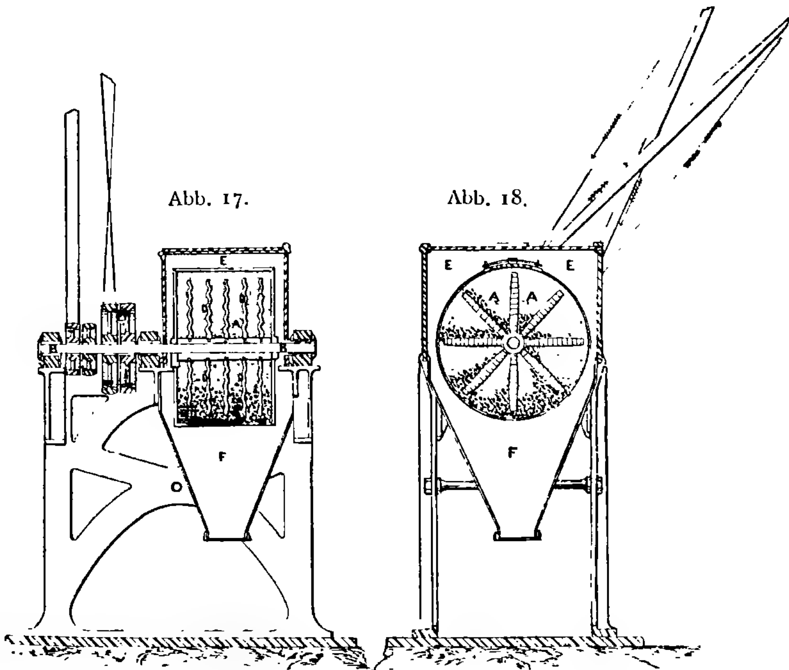
---

[1]) Zur Herstellung reibungsgefährlicher Mischungen auf maschinellem Wege bedient man sich am besten derjenigen Vorrichtungen, welche auch zum Polieren von Schiesspulver dienen, d. h. einfacher, rotierender Trommeln, in denen die Einwirkung der Innenwände auf das Mischgut höchstens durch an den letzteren angebrachte Leisten verstärkt wird. Ist die Mischung weniger empfindlich oder wird sie — wie im eben in Rede stehenden Falle — feucht verarbeitet, so benutzt man mit Vorteil schneller arbeitende Apparate: so z. B. eine Mischtrommel, die in der kgl. englischen Pulverfabrik in Waltham-Abbey seit mehreren Jahrzehnten gebraucht wird und in Abb. 17—18 (nach Goodenough, Notes on Gunpowder, London 1865) im Längen- und im Querdurchschnitt dargestellt ist. Die Trommel A nimmt durch die in Abb. 18 oben sichtbaren Öffnungen des Gehäuses E und ihrer Wand das Mischgut auf und dreht sich mit einer Geschwindigkeit von etwa 40 Umgängen in der Minute. Im entgegengesetzten Sinne und mit der doppelten Geschwindigkeit dreht sich die Axe B, die im Innern der Trommel 8 Reihen schmale, gewellte Schraubenflügel DD trägt. Die fertige Mischung lässt man durch den Trichter F ablaufen.

Zu einem gleichzeitig auch mahlenden Apparat, zur „Kugelmühle", wird die einfache Mischtrommel, wenn sie zugleich mit der zu bearbeitenden Mischung auch eine Beschickung von Kugeln aufnimmt, die dann an einander und an den Trommelwänden mahlend reiben. Das Verfahren heisst auch „Revolutionsverfahren", da es zuerst während der französischen Revolution eingeführt wurde, um die Produktion der Pulverfabriken auf die Höhe des vermehrten Bedarfs zu erheben. Für empfindliche Pulversorten ist es wenig geeignet, da sich in der Kugelmühle das Mahlgut immer sehr erhitzt.

„Das Lösungsmittel des Nitrobenzols wird aus den imprägnierten Körnern entfernt, indem man dasselbe im Vakuum langsam verdampft. Die durch das Nitrobenzol gelöste Nitrostärke umschliesst die in den Körnern enthaltenen vorbenannten anorganischen Salze oder organischen Stoffe hermetisch und man erhält ein Korn von äusserst hartem Gefüge.

„Die leichte Löslichkeit der Nitrostärke in geringen Mengen Nitrobenzol gestattet den Zusatz von anorganischen Salzen oder organischen Stoffen innerhalb weiter Grenzen (10 bis 90 %) zu variieren; je grösser der Gehalt an Nitrostärke ist, eine desto brisantere Wirkung wird das Pulver ausüben. Die Nitrostärke bildet immer den innigen Bindestoff des Kornes.



Mischtrommel der Pulverfabrik in Waltham-Abbey.

„Die Zusammensetzung des neuen rauchlosen Schiesspulvers kann innerhalb folgender Grenzen geändert werden:

Nitrobenzol	1 bis 10 Gewt.
Nitrostärke	10 „ 90 „
Anorganische Salze oder organische Stoffe der angeführten Art	90 „ 10 „

„Für rauchloses Schiesspulver mittlerer Zusammensetzung empfehlen sich folgende Verhältnisse:

Nitrostärke . . .	55 Gewt.
Salpeter	40 „
Nitrobenzol . . .	5 „ “

Ein neueres Nitrostärkepulver derselben Fabrik erhält zu seinem Vorteil keine Zusätze von Salpeter u. s. w. mehr und wird nach der Behandlung mit dem Lösungsmittel gepresst, wodurch es natürlich weit dichter wird:

„Zur Erzeugung solchen rauchlosen Schiesspulvers," — heisst es in der deutschen Patentschrift No. 54434 vom 25. März 1890 — „in welchem das Mischungsverhältnis 5 bis 10 % Nitrobenzol auf 95 bis 90 % Nitrostärke beträgt, vermengt man erst trockene Nitrostärke innig mit der entsprechenden Menge Nitrobenzol durch Abarbeiten mit den Händen in einer grossen Pfanne.

„Die so gemengte Masse wird zunächst in Kugelmühlen, wie sie bei der Fabrikation des schwarzen Schiesspulvers üblich sind, durch 6 bis 12 Stunden gemahlen.

„Das auf diese Weise erhaltene, ziemlich trockene Pulver wird bei einem Drucke von etwa 1000 kg per Quadratcentimeter in Kuchen gepresst, welche man dann mittelst der gleichfalls bei der Pulverfabrikation in Verwendung stehenden Körnmaschine körnt. Die Körner rundet man, indem man sie 10 bis 16 Stunden in grossen rotierenden Trommeln belässt, und schliesslich werden sie in ähnlichen Trommeln poliert und mit Graphit überzogen."

Nitration durch Lösung ergiebt natürlich immer ein in allen Particen sehr gleichmässiges Produkt, auch ist die Nitrostärke mit weniger Flüssigkeit zu lösen und zu gelatinieren, als die Nitrocellulose, und die erhärtete Gelatine ist weit spröder, so dass sie leicht auf einfachen Walzenkörnmaschinen gekörnt werden kann. Ihre Kraftentwickelung ist bei gleich hoher Nitration natürlich dieselbe. Gelingt es also wirklich, sie — wie ja so manchen ursprünglich als unstabil verschrieenen Nitro-Explosivstoff — zu stabilisieren, so könnte sie wohl einmal der Nitrocellulose eine gefährliche Konkurrenz machen. Bisher verdankt sie freilich ihr fast völlig auf die dankenswerten Bemühungen der Wiener „Aktiengesellschaft Nobel" beschränktes Aufleben in der Gegenwart nur dem ungeheueren Aufschwung, den die Verwendung von Nitrocellulose-Pulvern in unseren Tagen genommen hat; und auch unmittelbar nach seiner Erfindung blieb Braconnot's Xyloidin so gut wie unbeachtet, bis die Kunde von der auf völlig verschiedenen Wegen gemachten, aber verwandten Erfindung der Schiessbaumwolle die Welt durcheilte.

VI.

Die Erfindung der Schiessbaumwolle.

Als Liebig im Jahre 1822 Erlangen verliess, wo ihm die Beschäftigung mit Schelling's philosophischen Lehren während zweier Jahre kaum Zeit gelassen, seine Inauguraldissertation über das Knallquecksilber zu vollenden, freute er sich „von jenem Traume erwacht zu sein", und so volle Anerkennung auch später der grösste Chemiker unseres Jahrhunderts der Tiefe der rein philosophischen Gedanken des Philosophen der Romantik zollte, so wenig liess er es an humoristischen Bemerkungen über die „romantische Chemikerschule" fehlen. Wie aber einst nach Liebig's eigenem, im Früheren angeführten Urteil, die unhaltbare Phlogistontheorie in ihren praktischen Konsequenzen die Chemie nach vielen Richtungen hin gefördert hat, und auf dem uns hier beschäftigenden Sondergebiete der erste zielbewusste Eingriff in die altgeheiligte Dreizahl der Schwarzpulver-Bestandteile als eine Frucht der Stahl'schen Meinungen erscheint, so haben auch die Schüler Schelling's, welche die chemische Wissenschaft im Sinne des Meisters betrieben, den Schatz unserer naturwissenschaftlichen Erfahrungen um manches wertvolle Stück bereichert, und die Erfindung desjenigen Stoffes, welcher in unseren Tagen das alte Pulver nach mehr als halbtausendjähriger, fast unumschränkter Alleinherrschaft endgültig abgelöst hat, ist einem Manne zu verdanken, welcher die „dynamische" Naturansicht Schelling's als einer ihrer letzten Kämpen gegen den siegreich vordringenden Atomismus verteidigte. Dort hatte Stahl's Theorie Le Blond's Aufmerksamkeit auf eine richtige thermo-chemische, für die Pulverfabrikation zu verwertende Beobachtung gelenkt; hier hatten eines thatsächlichen Untergrundes fast ganz entbehrende, aber entsprechend angelegte Gemüter tief ergreifende Gedankenverschlingungen einen hochbegabten Jüngling, der sonst wahrscheinlich in den engen Bahnen einer rein gewerblichen Thätigkeit eingeschlossen seinen Lebensweg fortgesetzt hätte, der wissenschaftlichen Forschung zugeführt und während einer langen

und ruhmvollen Forscherlaufbahn oft auf Erwartungen und Versuche hingelenkt, die von jedem anderen theoretischen Standpunkte paradox und aussichtslos erscheinen mussten, die aber unter Schönbein's Händen unvergängliche Früchte zeitigten.

Sein langjähriger Freund und Amtsgenosse Prof. Eduard Hagenbach zeichnete in einer kurz nach Schönbein's Tode gehaltenen Rektoratsrede über Leben und Wissenschaft des der Basler Hochschule Entrissenen die Hauptzüge dieses stillen und doch so weltbewegenden Lebenslaufes folgendermassen:

„Christian Friedrich Schönbein wurde geboren am 18. Oktober des Jahres 1799 zu Metzingen, einem kleinen Orte, gelegen zwischen Nürtingen und Reutlingen im Königreich Württemberg. Seine Eltern gaben ihren Kindern eine einfache, doch sorgfältige Erziehung, bei welcher ein Hauptgewicht auf die religiöse Entwickelung gelegt wurde, welchem Umstande wohl teilweise das tiefe Gemütsleben zuzuschreiben ist, welches Schönbein durch sein ganzes Leben begleitete, wenn auch freilich die Form, in welcher dasselbe sich äusserte, mit der Zeit sich bedeutend änderte. Schönbein erhielt an seinem Geburtsorte eine gute Schulbildung, hauptsächlich auch in der lateinischen Sprache, für welche er während seines ganzen Lebens eine besondere Vorliebe behielt. Schon im 14. Jahre kam der Knabe aus dem elterlichen Hause und trat als Lehrling in eine chemische Fabrik zu Böblingen; seine Fähigkeit und Geschicklichkeit, verbunden mit Eifer und Arbeitstreue, bewirkten, dass er oft zur Besorgung wichtiger Operationen verwendet wurde; die wenige Zeit, die er für sich erübrigen konnte, benützte er zu seiner wissenschaftlichen Ausbildung. Nachdem er während beinahe sieben Jahren seine oft mühevolle Lehrzeit in Böblingen durchgemacht hatte, erhielt er im Jahre 1820 durch die Verwendung seines Prinzipals eine Stelle in Augsburg bei Dr. J. G. Dingler, der bekannt ist durch die Publikation des polytechnischen Journals und damals eine Fabrik chemischer Produkte hatte. Hier hatte Schönbein viel Gelegenheit zu seiner wissenschaftlichen Ausbildung, da die Benützung der wichtigsten chemischen Journale und einer reichen Bibliothek ihm offen stand; die Zeit des Morgens von 4 bis 6 Uhr und des Abends von 7 bis 10 Uhr konnte er wissenschaftlichen Studien widmen; er beschäftigte sich nach seiner Aussage hauptsächlich mit der Chemie von Berzelius, ferner mit seiner Lieblingssache der Philosophie, der Mathematik und der lateinischen Sprache; den Tag über musste er im Geschäfte sein. Doch blieb Schönbein in Augsburg nicht lange, er ging bald nach Hemhofen, einem Dorfe in der Nähe von Erlangen, wo er die Arbeiten in der chemischen Fabrik des Herrn J. N. Adam zu leiten bekam. Schönbein rühmt die gute Aufnahme bei seinem neuen Prinzipale, den er als einen freundlichen und äusserst guten Mann schildert, auch erhielt er an diesem Orte sehr viel Gelegenheit, seine praktischen Kenntnisse in der Chemie zu bereichern. Auf der Reise dahin hatte Schönbein in Nürnberg die Bekanntschaft des würdigen alten Kiessling gemacht, der vielen wohlbekannt ist durch seine wohlthätigen Leistungen und den Verkehr mit manchen frommen Männern der damaligen Zeit. Von diesem

erhielt er Empfehlungen nach Erlangen, unter anderen an den Professor der Mathematik und Physik Joh. Wilh. Andr. Pfaff und an den Professor der Naturgeschichte, den bekannten Schubert. Die Nähe von Hemhofen und Erlangen erlaubte es Schönbein, alle paar Wochen nach dieser Stadt zu wandern, die ihm viele geistige Nahrung bieten konnte, und wo er sich ganz wie zu Hause fühlte. Mit Pfaff, dessen ganze Familie württembergisch war, lebte er, wie er sich selbst ausdrückt, auf einem solchen freundschaftlichen Fusse, als man es mit jahrelangen Freunden thun kann. ‚Professor Schubert' — so schreibt Schönbein an seinen Jugendfreund — ‚ist die Liebe selbst; o wie wohl ist mir in dessen Umgebung; er verbindet mit der gründlichsten Gelehrsamkeit das lebendigste Christentum; er würde Dein Herz gewiss gewinnen und Du würdest gezwungen sein zu sagen: so lernte ich noch wenige kennen, wenn Du nur ganz kurze Zeit mit ihm umgingest; ich will nur kurz sagen, dass wir wie Brüder leben. Durch Herrn Schubert machte ich die verflossene Weihnachten (1820) noch eine äusserst erfreuliche Bekanntschaft mit dem Direktor von Schelling, dem berühmtesten und grössten Philosophen unserer Zeit; es war am Christfest Abend, als ich diesen grossen Mann sprach; die Unterhaltung war äusserst interessant und beim Abschied hatte ich das grosse Vergnügen, auf die herzlichste Weise zum öfteren Besuche von ihm eingeladen zu werden.' Schelling hatte damals für einige Zeit von seiner Stelle an der Akademie in München Urlaub genommen und hielt Vorlesungen in Erlangen; diese Zusammenkunft des grossen Philosophen, der damals eine sehr bedeutende Stellung im Leben wie in der Wissenschaft einnahm, mit dem jungen strebsamen Chemiker war der Anfang eines Freundschaftsverhältnisses, das später, als Schönbein in Erlangen studierte, befestigt und bis zum Tode Schellings durch brieflichen Verkehr unterhalten wurde. Auch in Nürnberg, das Schönbein von seinem Hemhofen aus besuchte, machte er einige Bekanntschaften, die ihm zu seiner geistigen Ausbildung behülflich waren; ein Freund daselbst hatte eine grosse Bibliothek, aus welcher er Lavaters Werke entlehnte, die ihn ungemein erbauten. In seinem neuen Aufenthaltsorte fühlte sich Schönbein sehr wohl und behaglich, was er deutlich in folgenden Worten ausdrückt: ‚Gottes weise leitende Hand hat mich hierher geführt; der herzlichste Dank sei von mir Gott dargebracht; wunderbar sind die Wege des Herrn, stets gut und unser eigenes Wohl bezweckend.' Doch gab die praktische Thätigkeit Schönbein keine Befriedigung; sie diente nur dazu, in ihm den Drang zum wissenschaftlichen Studium der chemischen Wissenschaften zu wecken; in Hemhofen reifte in ihm der Plan, die praktische Laufbahn zu verlassen und sich ganz dem wissenschaftlichen Studium der physikalischen und chemischen Wissenschaften zuzuwenden. Es wurde ihm ermöglicht, im Herbst des Jahres 1821 die Universität seines Heimatlandes Tübingen zu besuchen, wo damals Chr. Gottl. Gmelin Professor der Chemie und Bohnenberger Professor der Mathematik und Astronomie war. Mancher Freundschaftsbund, der zur Studentenzeit geschlossen wurde, dauerte für das ganze Leben fort. Von Tübingen ging Schönbein noch nach Erlangen, das ihm schon von seinem Aufenthalte in Hemhofen her gut bekannt, ja lieb geworden war; Kastner,

der seit Kurzem dahin berufen worden war, lehrte Chemie; Pfaff, dessen genaue Bekanntschaft Schönbein schon früher gemacht hatte, lehrte Mathematik und Physik; und durch diesen, der sich wie sein Bruder in Kiel auch mit Voltaïsmus beschäftigte, mag Schönbein hauptsächlich in diesen Teil der physikalischen Wissenschaft eingeführt worden sein. In der Schelling'schen Familie war Schönbein wie ein Sohn aufgenommen, und er pflegte später häufig mit Humor allerlei Geschichtchen zu erzählen, die Abends in geselligem Kreise beim grossen Philosophen sich ereignet hatten. Schelling blieb auch später immer für Schönbein ein väterlicher Freund, wie sich dies auch besonders in den Briefen ausspricht, in welchen er mit seinem frühern Schüler über wissenschaftliche Gegenstände sich unterhält und auch Anleitung giebt, wie er seine Forschungen bekannt machen soll. Einige der ersten Arbeiten Schönbeins wurden durch Schelling der Münchener Akademie vorgelegt. Wie teuer Schönbein bis in die letzte Zeit seinem Lehrer und Freunde war, davon konnte sich Schreiber dieses selbst überzeugen, wie er als Student wenige Wochen vor Schellings Tode diesen in Berlin mit einem Empfehlungsschreiben von Schönbein besuchte. Es ist keinem Zweifel unterworfen, dass der Einfluss dieses geistreichen Mannes und grossen Philosophen auf Schönbein ein sehr bedeutender war; ist ja doch dessen schönste Entdeckung, die Polarisation des Sauerstoffes, das heisst, das Auseinandertreten des indifferenten Sauerstoffes in seine beiden thätigen Gegensätze ganz den Grundsätzen und der Ausdrucksweise der Schelling'schen Identitätsphilosophie entsprechend.

„Nach Beendigung der zweijährigen Universitätsstudien im Jahre 1824 ward Schönbein, der schon früher in Hemhofen den Kindern seines Prinzipals Unterricht erteilt hatte, Lehrer der Physik und Chemie an einer Erziehungsanstalt zu Keilhau bei Rudolstadt; doch sein Trieb nach weiterer Ausbildung liess ihn nicht ruhen; schon nach Verlauf eines Jahres begab er sich nach England; ein Jahr brachte er in Epsom zu, wo er Unterricht an einem Institute erteilte, und ein Jahr in London. Im Jahre 1827 siedelte er nach Paris über, um die dortigen wissenschaftlichen Anstalten kennen zu lernen; er hörte dort hauptsächlich die Vorträge von Gay-Lussac, Ampère, Despretz, Thénard. Im Herbst des Jahres 1828 kam er an die Universität Basel, dazu veranlasst durch Herrn Ratsherr Peter Merian, der damals die Professur der Physik und Chemie bekleidete und infolge einer Krankheit sich genötigt sah, seine Wirksamkeit als Universitätslehrer einem Stellvertreter zu übergeben. Die philosophische Fakultät erteilte Schönbein bald nach seiner Ankunft im Dezember des Jahres 1829 den Doktorgrad und im Jahre 1835 wurde er zum ordentlichen Professor der Physik und Chemie ernannt; diese Stelle versah er ununterbrochen bis zu seinem Tode mit der einzigen Änderung, dass er seit dem Jahre 1852, wo ein besonderer Lehrstuhl für Physik errichtet wurde, nur die Chemie an der Universität zu vertreten hatte."

Als Lehrer erfreute sich Schönbein einer ausserordentlichen Beliebtheit, wozu namentlich die Wärme und innere Überzeugung, die seinen Vortrag belebte, beitrug. Bei solchen, die seiner Wissenschaft ferner

standen, hat er als Mensch durch sein Wohlwollen gegen jedermann und seine geselligen Tugenden eine freundliche Erinnerung hinterlassen. Alle, die ihn kannten, rühmen besonders die bescheidene Einschätzung des eigenen Könnens und der eigenen Verdienste, die ihn stets auszeichnete; sie spricht z. B. auch aus seiner Schilderung einer im Jahre 1853 erfolgten Begegnung mit Liebig, die er in sein 1855 unter dem Titel „Menschen und Dinge" im Druck erschienenes Reisehandbuch eintrug:

„Es war im Anfang der zwanziger Jahre, dass alle Tage zu Erlangen im Hörsaal des dortigen Lehrers der Chemie zwei junge Männer auf der gleichen Bank sassen, ohne jedoch mehr von einander, als ihre Namen zu wissen.

„Der eine war hager, schlank, aufrechten Ganges und kühn in die Welt hinausblickend, der andere von etwas gedrungener Gestalt, eher klein als gross, ein wenig vorwärts gebückt, und ein Physiognomiker hätte ihn vielleicht für einen beginnenden Theosophen oder schwärmerischen Gnostiker genommen.

„Der eine trug einen grünen Flaus mit Stilpkäppchen, der andere einen schwarzen deutschen Rock und Sammetbarett, der eine gehörte einer Landsmannschaft an, der andere hielt sich zur Burschenschaft, und da beide Verbindungen sich gegenseitig in Acht und Bann gethan, so fand im täglichen Leben zwischen ihren Mitgliedern nicht die geringste persönliche Berührung statt und wurde, wie oft und wie nahe man sich auch begegnen mochte, nicht ein Wort mit einander gewechselt.

„Ein einziges Mal wollte es der Zufall, dass beide Jünglinge auswärts zusammentrafen und sich einige Worte sagten, weil sie ausserhalb des Weichbildes der Alma mater sich befanden und auf diesem neutralen Boden gestattet war, was in der Universitätsstadt der Studentenkodex bei Strafe der Achtung verbot.

„Wie die beiden Männer in Erlangen zusammengelebt, so trennten sie sich, jeder vom anderen nicht wissend, wohin er ziehe.

„Nur wenige Jahre gingen vorüber und schon wurde der Name des einen von einem Ende Europas bis zum anderen genannt, und noch ein Lustrum verflossen, so hatte er die Welt mit seinem Ruhm erfüllt.

„Dem anderen fiel ein bescheideneres Loos; auch er hatte seinen Wirkungskreis gefunden, auch er verfolgte ohne Unterlass sein Ziel; die wissenschaftlichen Wege aber, welche beide Männer gingen, mussten eben so verschieden sein, wie ihre Naturen.

„Der eine titanischen Geistes griff keck und kühn in den Gang der Wissenschaft ein, an die Lösung der höchsten Aufgaben sich wagend; der andere, schon früh erfüllt von einem unbegrenzten Respekt vor der Gedankentiefe und Fülle der Natur, und die Sehweite des menschlichen Auges als nur eine sehr kurze betrachtend, betrat schüchternen Sinnes den Boden der Forschung, ging den verwickelteren Gegenständen seiner Wissenschaft vielmehr aus dem Wege, als dass er sie suchte, richtete seine Blicke aus Geschmack und aus Grundsatz möglichst einfachen Erscheinungen zu und fühlte vor allem, was an das Gebiet des organischen Lebens streifte, eine beinahe unüberwindliche Scheu.

„Der Lehrstuhl des einen war, wie einst der Galilei's, von Wissensdurstigen aller Zungen und Länder umlagert, der gefeierte Lehrer wurde Meister einer zahlreichen und rührigen Schule; der andere lehrte seine Wissenschaft, so viel er davon verstehen mochte, in einem kleinen stillen Kreise, nach aussen hin so gut als unbemerkt, die ihm zufallende Musse meist allein in seiner Werkstätte verbringend und Fragen an die Natur stellend, die, obgleich oft sonderbar genug, nicht immer ohne die gewünschte Antwort blieben.

„Fünfzehn Jahre waren seit der Trennung der Jünglinge verflossen, als sie nun zu Männern geworden, sich irgendwo wieder trafen. Sie grüssten sich wohl, erinnerten sich der Vergangenheit und sprachen einige freundliche Worte zusammen; aber der Zufall, oder was es sonst war, wollte, dass sie abermals schieden, ohne sich näher zu treten. Jeder wandelte wieder seinen eigenen Weg.

„Noch einmal gingen fünfzehn Jahre vorüber, ehe die Kommilitonen sich wieder begegneten. Manches war während dieses Zeitraumes geschehen: der eine hatte unterdessen einen der ersten Lehrstühle Deutschlands bestiegen, auch waren einige neue Blätter in die Geschichtsbücher der Wissenschaft, welcher beide Männer ihr Leben geweiht, eingeschrieben worden.

„Sich nicht fliehend, sich nicht suchend führte sie eine befreundete Hand zusammen. ‚Veni, vidi, victus sum' musste der eine sagen und dieser liess sich auch gerne vom andern erobern.

„Was früher zwei Semester akademischen Lebens, was ein Zeitraum von drei Jahrzehnten nicht zu thun vermochte, das bewerkstelligte jetzt ein Augenblick.

„Trotz der grossen Verschiedenheit ihres Wesens waren sie in einem doch gleich: in der Liebe zum Gegenstand ihrer Wissenschaft und in dem eifrigen Streben, einen Teil des Wirkens und Schaffens der Natur dem Verständnisse näher zu bringen.

„Eine dreissigjährige Thätigkeit lag hinter ihnen, jeder war das geworden, wozu ihn seine Individualität befähigte; der eine hatte mit seinen zehn Pfunden zehn neue gewonnen, und auch der andere durfte sich sagen, dass er mit seinem Talent zu wuchern gestrebt.

„Aus der Überzeugung, welche die Menschen von einander erlangen, dass jeder das seine auf die ihm zuständige Weise gethan, entspringt die gegenseitige Achtung, und aus dieser allein wird die echte Freundschaft geboren."

Ein wahrer Weiser, legte Schönbein auf Geld und Gut nur insoweit Wert, als er ihrer zur Befriedigung seiner bescheidenen Bedürfnisse und zur bequemen Durchführung seiner wissenschaftlichen Arbeiten bedurfte. Die letzteren waren fast durchweg so geartet, dass die Erwartung eines materiellen Nutzens ausgeschlossen erschien, und nichts ist ungerechtfertigter, als der Vorwurf der Habsucht, der ihm von einigen Seiten gemacht wurde, als er in der sehr berechtigten Absicht, die von seiner am unmittelbarsten verwertbaren Erfindung zu erwartenden Gewinne nicht allein denjenigen zu überlassen, die über die zur Verwertung erforderlichen Kapitalien verfügten, die Herstellungsweise der Schiessbaumwolle etwas länger geheim

hielt, als es der gespannten Neugier der Welt passte. Auch dass ihm manche Auszeichnungen zugefallen sind, hatte Schönbein nie unmittelbaren Bemühungen darum zu verdanken: ohne sein Wissen verschaffte ihm Berzelius den schwedischen Orden des Nordsterns, dem sich dann noch verschiedene anderen Ehrenzeichen zugesellten. Im Jahre 1854 wurde Schönbein korrespondierendes Mitglied der Königlich Bayerischen, zwei Jahre später der Berliner Akademie; im Jahre 1858 ernannte ihn die Leopoldinisch-Carolinische Gesellschaft der Naturforscher zu ihrem Genossen und gab dem Erfinder der Schiessbaumwolle den Beinamen „Berthold Schwarz". Im Jahre 1861 wurde er Korrespondent für die physikalische Klasse der Königlichen Societät in Göttingen, und als Liebig im Jahre 1863 zum auswätigen Mitgliede der Pariser Akademie ernannt wurde, erhielt Schönbein seinen Platz als Korrespondent. Die Freiburger Universität ernannte ihn bei ihrem vierhundertjährigen Jubiläum zum Doktor der Medizin, die Tübinger Universität bei Gelegenheit der Aufstellung einer besonderen naturwissenschaftlichen Fakultät zum Doktor der Naturwissenschaften. Er nahm übrigens auch am politischen Leben des Staatswesens, dem er die längste Zeit seines Lebens angehörte, teil, und ist auch in diesem Sinne nicht ohne Anerkennung geblieben.

„Schönbein hatte sich," — sagte Prof. Hagenbach, — „schnell in die bürgerlichen Verhältnisse Basels eingelebt, wozu ihm die politisch aufgeregte Zeit des Streites mit der Landschaft reichliche Gelegenheit bot. Im Jahre 1840 wurde ihm das Ehrenbürgerrecht geschenkt, sowohl in anbetracht seiner Verdienste als Lehrer der Wissenschaft, als auch, wie es im Protokolle des Stadtrates erwähnt wird, ‚weil Herr Professor Schönbein auch in den Zeiten unserer Wirren seine Anhänglichkeit an unsere Stadt durch Wort und That an den Tag gelegt habe.' Die Bürgerschaft bezeugte ihrem neuen Angehörigen ihr Zutrauen dadurch, dass sie ihn im Dezember 1848 in den grossen Kantonsrat, und im Dezember 1851 in den grossen Stadtrat wählte. In seiner politischen Stellung gehörte Schönbein immer mehr der konservativen Partei an, was damit zusammenhing, dass er ein Freund alles dessen war, was sich durch die historische Entwickelung gebildet hatte, und somit ein Gegner aller nicht notwendigen Änderungen; doch half er gerne überall da mit, wo es galt, etwas ins Leben zu rufen, was einem wirklichen Fortschritt entsprach; auch ist er immer gegen jede Unterdrückung der Glaubens- und Redefreiheit, gleichviel von welcher Seite ihm dieselbe bedroht schien, mit Entschiedenheit aufgetreten. Wo es galt, durch Wort oder That das Wohl seiner neuen Heimat zu fördern, da war Schönbein gerne bereit, das Seinige zu leisten."

Schönbein's ganze Auffassung der Natur und Welt überhaupt war nach Prof. Hagenbach

„ebensowohl gegeben durch die Bedürfnisse des Gemütes als durch die Ergebnisse der verständigen Wissenschaft; er trat mit grosser Entschiedenheit

und bei mannigfachen Gelegenheiten, insbesondere in einer im Jahre 1853 verfassten akademischen Schrift: ‚Über die Bedeutung und den Endzweck der Naturforschung' gegen die Weltanschauung auf, welche die Mannigfaltigkeit der leblosen und lebenden Natur aus dem blinden Spiele zu erklären sucht, das ein noch blinderer Zufall mit den Atomen treibt. Dass die Welt von einem mächtigen und allweisen Gott aufs Trefflichste und Zweckmässigste eingerichtet sei, das hat er entgegen dem jetzt viel verbreiteten Materialismus und trotz dem üblen Geruche, in dem die teleologische Weltanschauung bei vielen steht, mit Deutlichkeit ausgesprochen; und da er annahm, dass die eigentliche Wissenschaft gerade in der Erkenntnis der Zweckbeziehungen der verschiedenen Teile der Natur zu einander bestehe, so war es auch ganz seiner Ansicht angemessen, wenn er am Ende einer wissenschaftlichen Abhandlung über den Sauerstoff mit allgemeinen Betrachtungen über die teleologischen Verhältnisse schloss, welche den Eigenschaften dieses Elementes zu Grunde liegen. Dass die nur auf einzelne Äusserlichkeiten und die Nützlichkeit für den Menschen berechnete Teleologie, wie sie besonders von den Engländern häufig vorgetragen wurde, nicht nach Schönbein's Geschmack war, geht deutlich aus der Art und Weise hervor, mit welcher er in seinem Reiseberichte von einer Rede Buckland's erzählt, der es als eine weise absichtliche Anordnung der Vorsehung pries, dass sie, um das britische Volk zu bereichern, in der Nähe von Birmingham Eisenerze, Steinkohlen und Kalksteine nahe zu einander legte. Mit Schönbein's Weltanschauung hing es zusammen, dass er der Natur immer mit der grössten Ehrfurcht entgegentrat. ‚Wie gross auch schon die Summe menschlichen Wissens der Menge erscheinen mag,' sagt er in der erwähnten Schrift, ‚so empfindet gerade der erfahrenste Forscher die Lückenhaftigkeit und das Stückwerk desselben und nimmt für gewiss an, dass von dem, was die Natur ist und was von ihr erforscht werden kann, der Mensch bis jetzt nur einen unendlich kleinen Bruchteil kennen gelernt habe.' Da Schönbein selbst von tiefen religiösen Gefühlen durchdrungen war, so ehrte er auch dieselben bei andern, und wenn er auch schon an keine bestehende Kirchengemeinschaft sich anschloss und über manches Ansichten hatte, die weit von dem abwichen, was von der Kirche als rechtgläubig vorgeschrieben wird, so hat er nie die geringste Verurteilung oder den leisesten Spott Andersdenkenden gegenüber kund werden lassen.

„So sehr wir immer mit Schönbein einig gingen, wenn er die Lehren derer bekämpfte, die alle Erscheinungen auch in der lebenden Natur nur aus der blinden Naturnotwendigkeit physikalisch-chemischer Kräfte erklären wollen, so konnten wir ihm doch nicht in gleichem Masse beistimmen, wenn er ganze, gewiss sehr berechtigte Richtungen der Wissenschaft verurteilte, weil sie ihm gewöhnlich in einer Form entgegentraten, die ihm zum Materialismus zu führen schien. Dass in manchen philosophischen Lehrgebäuden Atomismus und Materialismus mit einander gingen, ist hinlänglich bekannt; doch ist davon die physikalisch-chemische Frage ganz unabhängig, ob die Materie stätig oder in diskreten Teilen den Raum erfüllt. Wenn nun auch der grösste Teil der Forschungen der neueren Zeit zur Annahme des letzteren hindrängen, so mochte

sich doch Schönbein eigentlich nie recht zu der jetzt bei der Beantwortung physikalischer Fragen ganz allgemein angenommenen atomistisch-mechanischen Anschauung bekennen, was sich allerdings dadurch zum teil erklärt, dass er den mathematisch-mechanischen Studien, die hauptsächlich zu jener Anschauung führen, ziemlich fern geblieben ist."

Mit Schönbein's theoretischen Meinungen hing auch die Art, wie er praktisch arbeitete, eng zusammen:

„Man pflegt gewöhnlich den Anfang der neuern Chemie mit der Einführung genauer Wägungen durch Lavoisier in Verbindung zu bringen;[1]) und ebenso ist auch nicht zu bestreiten, dass seither die Vervollkommnung der Messinstrumente und Messmethoden, sowie die Erstellung mancher Apparate, durch welche die Körper verschiedenen Bedingungen und Einflüssen ausgesetzt werden können, sehr wesentlich dazu beigetragen haben, die chemische Wissenschaft zu erweitern und auf festere und sichere Grundlagen zu stellen. Alle diese Vervollkommnungen waren für Schönbein fast wie nicht vorhanden; feine Wagen, genau kalibrierte Gefässe, empfindliche Thermometer, Kathetometer u. s. w. waren für Schönbein ziemlich fremdartige Instrumente, und wir möchten zweifeln, ob er jemals eine quantitative Analyse mit den jetzt allgemein geforderten Genauigkeitsmassregeln vollkommen durchgeführt hat; die Hülfsmittel, die er zu seinen Forschungen gebrauchte, waren ganz ausserordentlich einfache; einige Probegläschen, ein paar Flaschen, Retorten und Kolben, eine Weingeist- oder Gasflamme, das waren die Mittel, über die er bei seinen chemischen Arbeiten selten hinausgegangen ist; und auch bei seinen hübschen Versuchen aus der Lehre des Voltaïsmus benützte er ein Galvanometer, das allerdings eine bedeutende Empfindlichkeit hatte, doch lange nicht den Anforderungen entsprach, die jetzt an ein solches Instrument gestellt werden. Jedenfalls hat Schönbein aufs Glänzendste den Beweis geliefert, dass auch mit höchst unbedeutenden Mitteln Bedeutendes geleistet werden kann. Wollte man aus der Unvollkommenheit der Apparate den Schluss ziehen, dass Schönbein ungenau und unzuverlässig gearbeitet habe, so würde man sehr irren. Vorerst sei bemerkt, dass er die Tragweite der von ihm angewandten Mittel sehr wohl kannte; und wenn er darum die Resultate einer quantitativen Untersuchung angab, so begnügte er sich gewöhnlich mit zweiziffrigen Zahlen, und zog nicht etwa, wie dies sonst auch vorgekommen ist, Schlüsse aus den letzten Ziffern einer vier- und fünfziffrigen Zahl, bei welcher vielleicht höchstens die zweite Ziffer noch hinlängliche Zuverlässigkeit hat. Doch geben wir gerne zu, dass es sehr zweckmässig ist,

[1]) Gerade auf dem uns hier beschäftigenden Gebiete hat die durch Lavoisier bewirkte Erhebung der Wage zum vornehmsten Werkzeug der chemischen Forschung ganz besonders eine neue Periode eingeleitet. Das Festhalten der Thatsache, dass „verbrannte" Metalle durch die Verbrennung an Gewicht zunehmen, führte ihn zur Erklärung des Verbrennungsvorganges, ohne welche die Explosivstoff-Chemie — trotz mancher früheren dunklen Ahnungen von der Existenz des Sauerstoffes und der Wirkungsart des Salpeters im Schiesspulver (vgl. T. 1 S. 158—159) — stets nur durch Tappen im Dunklen mühsam vorwärtsschreiten konnte. (Anm. d. Verf.)

wenn die quantitativen Untersuchungen Schönbein's von Chemikern wiederholt werden, die für solche Arbeit mehr Erfahrung und Geschicklichkeit haben; das Verdienst Schönbein's fällt deshalb doch nicht weg, den Weg gezeigt zu haben, der zur Ermittelung der Thatsache führt. Der quantitativen Ermittelung der chemischen Vorgänge hat jedoch Schönbein immer nur einen verhältnismässig untergeordneten Wert beigelegt; er sprach es oft aus, dass er sich mehr um die Bestimmung der Qualität als der Quantität kümmere, mehr um die Beantwortung der Frage ‚wie?‘ als der Frage ‚wie viel?‘, wobei er allerdings den Wert der Ermittelung der Quantität für die richtige Beurteilung der Qualität zu sehr unterschätzen mochte. Er überliess es anderen, neue Körper darzustellen und die von der Natur uns gelieferten einer genauen quantitativen Analyse zu unterwerfen; ihn beschäftigten hauptsächlich die Fragen, die es mit den mannigfachen Veränderungen der Körper unter der Einwirkung äusserer Einflüsse zu thun haben; der chemische Prozess war für ihn ein Vorgang im eigentlichen Sinne des Wortes, ein Fortschreiten von einer Stufe zur andern; er verglich ihn daher öfters mit einem Drama, bei welchem es nicht nur wichtig ist, das Personenverzeichnis am Anfang und das Resultat des letzten Aktes zu wissen, sondern wobei das, was dazwischen liegt, das heisst die Entwickelung, die Hauptsache ist. Diesem Entwickelungsgange mit seinen sonst so oft vernachlässigten Übergangsstufen ging Schönbein ganz besonders nach; dazu war es vor allem nötig, gute Beobachtungsmittel zu haben, und sein Hauptaugenmerk war darum darauf gerichtet, sich höchst empfindliche und zugleich zuverlässige Reagentien zu schaffen. Zwei leicht wahrnehmbare Erscheinungen, die Bläuung der Stärke durch Jod und des Guajakharzes durch erregten Sauerstoff bilden die Grundlage für die meisten Reagentien; doch hat Schönbein sehr bestimmt darauf geachtet, dass die allerdings gleichen Erscheinungen bei verschiedenen Stoffen unter vollkommen ungleichen, leicht auszuführenden und scharf zu unterscheidenden Bedingungen eintraten; auch hat er sich immer bemüht, durch Kontrollversuche gegen die verschiedensten Einwendungen sich sicher zu stellen und den Grad der Empfindlichkeit des angewandten Reagens in Rechnung gezogen. Es ist allerdings einige Male vorgekommen, dass Schönbein aufgestellte Thatsachen infolge späterer Untersuchungen berichtigen musste; doch war im allgemeinen nur die Auslegung der Erscheinung abzuändern, während es mit der Beobachtung der Erscheinung als solcher seine volle Richtigkeit hatte. . . .“

„Die theoretischen Ansichten Schönbein's mögen mit der Zeit mannigfache Umänderungen erleiden, immer haben sie dazu gedient, den genialen Forscher zu der Auffindung mancher wichtigen Thatsachen zu leiten, die für die Wissenschaft von unvergänglichem Werte sind.“

So Prof. Hagenbach im Jahre 1868. Heute hat sich von Schönbein's theoretischen Ansichten wohl so gut wie nichts mehr behauptet; zwei Thatsachen aber, von deren einer ein theoretischer Irrweg zur Auffindung der anderen geführt hat, würden allein genügen, um seinen Namen in der Geschichte der Wissenschaft und Technik unsterblich zu machen. Die

eine, die Entdeckung des Ozons, berührt mehr das rein wissenschaftliche, die andere, die Erfindung der Schiessbaumwolle, mehr das technische Gebiet.

Im Jahre 1839 entdeckte Schönbein, dass der früher stets einer unmittelbaren Einwirkung der Elektrizität auf die Geruchsorgane zugeschriebene, beim Ausströmen der Elektrizität aus Spitzen, beim Entladen elektrischer Batterieen oder bei der Wasserelektrolyse deutlich zu beobachtende „elektrische Geruch" einer eigentümlichen Gasart zu verdanken ist, die er mit dem griechischen Worte für „riechend" Ozon benannte. Jetzt zweifelt wohl niemand mehr daran, dass sich der Ozon vom gewöhnlichen Sauerstoff nur durch die Anzahl der zum Molekül verbundenen Atome unterscheidet; für Schönbein war diese atomistische Erklärung natürlich nicht annehmbar. Nachdem er sich überzeugt, dass seine neue Luftart kein zusammengesetzter Stoff und auch kein Element für sich ist, konnte der treue Jünger Schelling's im Sinne der „dynamischen" Naturansicht des Meisters die den Ozon vor dem gewöhnlichen Sauerstoff auszeichnenden Eigenschaften nur einer etwas mystischen „Kraft", einer Art „Seele" zuschreiben, die den Sauerstoff „errege". Es fehlte nun im Sinne jener Naturanschauung nur noch das Gegenstück zum Ozon, ein „Antozon" Diesen glaubte Schönbein im Jahre 1861 in einer Luftart, die sich später als mit dem Wasserstoffsuperoxyd identisch entpuppte, nachgewiesen zu haben; schon weit früher erwartete er aber von chemischen Operationen, bei denen sich aus zwei verschiedenen Stoffen zugleich erregter Sauerstoff oder wenigstens das diesen leicht abgebende Wasserstoffsuperoxyd entwickelte, ganz besondere oxydierende Wirkungen. Für eine der bezeichneten doppelseitigen Entwickelung fähige Mischung hielt er, nachdem Heinrich Rose das (heute als Salpetrigpyroschwefelsäureanhydrid zu benennende) „doppeltschwefelsaure Stickoxyd" entdeckt, ein Gemenge von Schwefelsäure und Salpetersäure; und die Versuche mit dieser Flüssigkeit waren es nach Prof. Hagenbach, die zur Herstellung der Schiessbaumwolle führten:

„Im Herbste des Jahres 1845 war Schönbein mit Untersuchungen über Ozon und erregten Sauerstoff beschäftigt. Von der Voraussetzung ausgehend, Schwefelsäurehydrat sei SO_2, HO_2, Salpetersäurehydrat NO_4, HO_2, und das Rose'sche doppelt-schwefelsaure Stickoxyd $2SO_2$, NO_4, hielt er es für wahrscheinlich, dass beim Vermischen der genannten Säurehydrate die letzterwähnte Verbindung entstehe, und als Folge davon entweder das in beiden Säuren enthaltene Wasserstoffsuperoxyd abgetrennt werde, oder doch wenigstens ein Säuregemenge mit stark oxydierenden Eigenschaften entstehe. Die letztere Erwartung hat sich auch vollkommen bewährt; und Schönbein hat die oxydierende Wirkung auf eine Anzahl Substanzen studiert. Schwefel und Selen wurden in schweflige und selenige Säure, Phosphor in Phosphorsäure, und Jod in Jodsäure

verwandelt. Besonders interessant waren aber die Veränderungen, die einige organische Körper durch die Einwirkung dieser Flüssigkeit erlitten: das Papier wurde in eine pergamentähnliche Substanz verwandelt, die durch Reiben ausnehmend stark elektrisch wurde; Rohrzucker lieferte einen harzähnlichen Körper, der in der Kälte spröde ist, bei gewöhnlicher Temperatur aber sich kneten und in Fäden ausziehen lässt; er wurde Nitrosaccharin genannt. Am meisten Aufsehen erregte die Substanz, welche Schönbein im Anfang des Jahres 1846 erhielt, als er Baumwolle in das erwähnte Gemisch tauchte; es wird dieselbe nämlich dadurch, ohne ihr äusseres Aussehen merklich zu verändern, in einen Körper verwandelt, der beim Entzünden eine pulverähnliche Explosion verursacht."

Schönbein erhielt mit seinem Säuregemisch zunächst die gleichen Substanzen, wie sie Braconnot mit Salpetersäure erhalten: pergamentartiges Papier und nach Auflösung und Abdunsten des Lösungsmittels glasartig zurückbleibendes Xyloidin. Diese Produkte zeigte er in einer Sitzung der Naturforschenden Gesellschaft zu Basel vor; die Sitzungsberichte (Bd. VII, S. 26) sagen:

„D. 11. März 1846. Herr Prof. Schönbein: Notiz über eine Veränderung der Pflanzenfaser und einiger anderen organischen Substanzen. Referent teilt mit, dass es ihm gelungen sei, die Pflanzenfaser, Zucker u. s. w. wesentlich zu verändern, namentlich aber das Papier derart zu modifizieren, dass es wasserdicht und in einem hohen Grade elektrisch werde. Unter anderen Erzeugnissen wird eine vollkommen durchsichtige, in Wasser unlösliche, aus vegetabilischen Fasern erhaltene Substanz vorgewiesen, welche durch ihre Fähigkeit, durch Reiben elektrisch zu werden, noch das wasserfeste Papier um vieles übertraf."

Über die von ihm zuerst versuchte Nitration des Zuckers teilte Schönbein ein Jahr später, nachdem das Geheimnis seiner Säuremischung schon allgemein bekannt geworden, der Baseler Gesellschaft noch Näheres mit (Ber. Bd. VIII, S. 5):

„D. 7. April 1847. Herr Prof. Schönbein über Nitrosaccharin. Referent macht nähere Angaben über die schon im Jahre 1845 von ihm gemachte Entdeckung, betreffend die Umänderung, welche der Rohrzucker in Berührung mit Salpeter-Schwefelsäure erleidet. Rührt man drei Teile dieses Gemisches (aus zwei Teilen Vitriolöles[1]) und einem Teil möglichst konzentrierter Salpetersäure bestehend) in der Kälte mit einem Teil fein gepulverten Rohrzuckers zusammen, so entsteht anfangs eine kleisterartige Masse, die sich aber rasch verdickt und zu einem zähen Klumpen anhäuft, der mit Leichtigkeit aus dem Säuregemisch entfernt werden kann. Während der Reaktion, die in wenigen Minuten vollendet ist, entwickelt sich kein Gas noch Untersalpetersäure, es findet jedoch eine schwache Wärmeentwickelung statt. Bringt man den erwähnten Klumpen unmittelbar nach seiner Bildung in Wasser und wäscht ihn so lange aus, bis das

---

[1]) Solches, nicht sogenannte englische Schwefelsäure, enthielt also die von Schönbein im Jahre 1845 hergestellte Säurenmischung, die ihn auch auf die Erfindung der Schiessbaumwolle führte. (Anm. d. Verf.)

Waschwasser das Lakmuspapier nicht mehr merklich rötet, so besitzt er folgende Eigenschaften: er ist farb- und geruchlos, von schwach bitterlichem Geschmack, in der Kälte fest und spröde, lässt sich bei gewöhnlicher Temperatur wie erwärmtes Jalappenharz ausziehen, hierbei den schönsten Seidenglanz und Silberfarbe annehmend, zwischen den Fingern weich und klebrig werdend, in kochend heissem Wasser schmelzbar. Die Substanz ist in kaltem Wasser sehr spärlich lösbar, etwas reichlicher in kochendem, wodurch es einen rein bitteren, dem Chinin ähnlichen Geschmack erhält. Äther, Weingeist, ätherische und fette Öle lösen die Materie reichlich auf. In möglichst konzentrierter Salpetersäure löst sich der veränderte Zucker schon in der Kälte reichlichst auf und wird aus einer solchen Lösung derselbe durch Wasserzusatz dem grösserem Teile nach gefällt, ein kleiner Teil bleibt in der verdünnten Säure gelöst, dieser einen höchst bitteren Geschmack ertheilend. Wird in einem offenen Gefäss die Substanz bis zur Schmelztemperatur erwärmt, so verflüchtigt sich das noch anhaftende Wasser, und ist dieses verdampft und lässt man das Ganze abkühlen, so erstarrt die Materie und hat das Ansehen des Kolophoniums, dem sie auch darin ähnlich ist, dass sie durch Reiben stark negativ elektrisch wird. Lässt man eine mässige Erwärmung länger fortdauern, so entbindet sich Untersalpetersäure, und bei einer Steigerung der Temperatur entflammt sich die Masse wie Pulver, ohne einen merklichen Rückstand zu lassen.

„Die wässerige Lösung der harzähnlichen Substanz, mit etwas Schwefelsäure versetzt, zerstört die Indigolösung und andere Pflanzenfarben, bläut aufs tiefste den Jodkaliumkleister, wandelt das gelbe Blutlaugensalz in das rote um, verhält sich überhaupt wie die Lösung eines salpetrichten Salzes, die schwefelsäurehaltig ist. Aus diesen und anderen Gründen hält der Referent die fragliche Materie für eine Verbindung von Zucker und Untersalpetersäure und schlägt dafür den Namen Nitrosaccharin vor."

Die Ansicht Schönbein's über die chemische Zusammensetzung seines explosiven Zuckers ist unrichtig: auch das Nitrosaccharin ist, wie die Nitrostärke, die Nitrocellulose, das Nitroglycerin u. s. w. kein eigentliches Nitroprodukt, sondern ein Salpetersäureäther. Das Produkt hat keinerlei praktische Verwendung finden können, da seine harzartig klebrige, zähe Beschaffenheit ein vollständiges Auswaschen ausserordentlich schwer macht, und zurückbleibende Säure, wie stets in ähnlichen Fällen, eine baldige Selbstzersetzung einleitet. Desto grössere Erwartungen knüpften sich gleich nach seinem Bekanntwerden an das nächste Erzeugnis der Schönbein'schen Versuche.

Zum 27. Mai 1846 sagen die Baseler Berichte (Bd. VII, S. 27):

„Herr Prof. Schönbein über Schiessbaumwolle. Unter Bezugnahme auf die am 11. März 1846 der Gesellschaft mitgeteilte Notiz zeigt Referent Baumwolle vor, von ihm Schiesswolle genannt, so verändert, dass sich dieselbe noch leichter entzündet ohne einen Rückstand zu lassen, als das Schiesspulver selbst. Zu gleicher Zeit werden mit Gewehren Versuche angestellt, die zeigen, dass die

Schiessbaumwolle bei ihrer Verbrennung in Geschossen eine noch bedeutendere Triebkraft entwickelt, als dies ein gleiches Gewicht des besten Schiesspulvers thut. Zwanzig Gran Schiesswolle in eine Flinte geladen trieb anderthalb lötige Kugeln durch vier dicke Bretter in einer Entfernung von sechzig Schritten. Schiesswolle auf einen Ambos gelegt und mit einem Hammer geschlagen detonierte, ohne sich zu entzünden,[1]) sich aber zerstäubend."

Bald drangen Nachrichten über Mitteilungen Schönbein's in Gelehrtenkreisen und über Schiess- und Sprengversuche, die in Basel und am Tunnel bei Istein angestellt wurden, auch in die Tagesblätter und erregten ein Aufsehen, von dem sich einen Begriff zu machen nicht leicht ist. Würde etwa heute eine Erfindung auftauchen, die ein völliges Verschwinden aller Dampfmaschinen, Eisenbahnen und Dampfschiffe in nahe Aussicht stellte, so könnte sie kaum eine allgemeinere und tiefergehende Erregung in allen Kulturländern hervorrufen. Sollte doch das alte Schwarzpulver, das wie kein anderes Erzeugnis der Chemie auf die Geschicke des Menschengeschlechts eingewirkt, verschwinden; es sollte verschwinden, verdrängt von einem Pflanzenstoffe, dessen bescheidene Nützlichkeit bisher eine solche Verwendung nie hatte ahnen lassen, ja der sogar in Form der „baumwollenen Schlafmütze" und des „wattierten Schlafrockes" geradezu als Sinnbild alles Energielosen gegolten! Und mit dem alten Pulver sollte auch eine Erscheinung der Vergangenheit anheimfallen, die Jahrhunderte lang als unvermeidliches Attribut eines Schlachtfeldes gegolten: der Pulverdampf, den so viele Maler gemalt und so viele Dichter besungen. Aus der Eigenschaft der Schiessbaumwolle, einen weniger lauten Knall zu ergeben, als das alte Schiesspulver, hatte die stets vergrössernde Fama natürlich schnell eine völlige Knalllosigkeit gemacht, so dass auch der „Donner der Geschütze" mitsamt dem „Knattern des Gewehrfeuers" bald unter die Sagen der Vorzeit zu geraten drohte.

Eine so aufgenommene Erfindung versprach auch höchst bedeutende materielle Gewinne. Schönbein hegte, wie bereits erwähnt, den sehr berechtigten Wunsch, an diesem teilzunehmen. Erfindungspatente wurden in jener Zeit von vielen Staaten noch nicht erteilt; in anderen war wiederum die Patenterwerbung mit einer Veröffentlichung der Erfindung verknüpft, so dass Schönbein am zweckmässigsten zu handeln glaubte, indem er zwar Proben seines Explosivstoffes an staatliche Kommissionen und einige Private ausgab, das Herstellungsverfahren jedoch geheim hielt. Leider hatte er mit der Geheimhaltung zu spät begonnen und sie auch später nicht streng genug durchgeführt. In dem „pergamentartigen Papier" und der „vollkommen durchsichtigen, in Wasser unlöslichen, aus

[1]) Dürfte wohl nur heissen: „ohne eine sichtbare Flamme von sich zu geben." (Anm. d. Verf.)

vegetabilischen Fasern erhaltenen Substanz", die am 11. März 1846 der Baseler Naturforschenden Gesellschaft vorgezeigt und dann in mehreren Zeitschriften beschrieben worden, konnte jeder mit den Arbeiten Braconnot's und Pelouze's Bekannte unschwer bereits bekannte Erscheinungen wieder erkennen, und dass Schönbein dann am 27. Mai beim Vorführen einer ausserordentlich entzündlichen und leicht verbrennlichen Baumwolle ausdrücklich auf jene Ergebnisse Bezug nahm, bot einen so leicht zu verfolgenden Leitfaden zum kostbaren Geheimnis, dass es eigentlich zu verwundern ist, dass sich erst im Anfang des August ein zweiter Erfinder der Schiessbaumwolle in der Person des Prof. Böttger in Frankfurt a. M. meldete. Dieser machte Schönbein brieflich Mitteilungen und zugleich den Vorschlag einer Assoziation zur weiteren Ausarbeitung und Verwertung der beiderseitig gemachten Erfindung. Schönbein ging auf den Vorschlag ein. Jetzt erschien aber bald noch ein dritter Erfinder vor der Öffentlichkeit, und machte auch zugleich sein Verfahren aller Welt kund. Prof. Otto in Braunschweig veröffentlichte in der „Hannoverschen Zeitung" (nicht in der „Allgemeinen Zeitung", wie man oft liest; diese zitiert am 11. Oktober aus der „Hann. Ztg.") Folgendes:

„Vollkommen unabhängig von Schönbein und Böttger, auf eine Beobachtung von Pelouze fussend, die mein Lehrbuch der Chemie auf Seite 136 im I. Bande hat, ist es mir gelungen, eine explodierende Baumwolle darzustellen, welche nach den drei vorgenommenen Versuchen in der That ganz geeignet erscheint, das Schiesspulver zu ersetzen. Um die Resultate wichtiger Entdeckungen so schnell als es zu wünschen auf die höchste Stufe der Vollkommenheit zu bringen, scheint es mir notwendig, dieselben sofort der Öffentlichkeit zu übergeben, damit Hunderte und Hunderte sich mit denselben beschäftigen können. Ich verschmähe es deshalb, die von mir gemachte höchst interessante Entdeckung, deren Folgen im Augenblicke gar nicht abzusehen sind, zu verkaufen oder patentieren zu lassen und bringe sie hiermit zur allgemeinen Benutzung ins Publikum.

„Zur Darstellung der explosiven Baumwolle wird gewöhnliche, gut gereinigte Baumwolle ungefähr eine halbe Minute lang in höchst konzentrierte Salpetersäure getaucht (die, welche ich benutze, ist von zehn Teilen trockenen Salpeters und sechs Teilen Vitriolöl bereitet), dann sofort in oft zu erneuerndes Wasser gebracht, um sie darin von anhängenden Säuren völlig zu befreien — wobei Sorge zu tragen, dass alle fester zusammenhängenden Teilchen gehörig entwirrt werden — und hierauf stark getrocknet. Das explosive Präparat ist dann fertig. Die Wirkungen desselben erregen Staunen bei jedem, der sie sieht. Die kleinste Menge explodiert, wenn sie auf einem Ambos mit dem Hammer geschlagen wird, wie Knallquecksilber; durch einen glimmenden Körper entzündet, brennt sie wie Schiesspulver ab, und im Gewehr leistet sie in weit kleinerer Gewichtsmenge vollkommen das, was Schiesspulver leistet. Man wendet die explosive Baumwolle genau so wie Schiesspulver an. Man macht aus der-

selben einen Pfropf, stösst diesen in den Lauf, setzt einen Papierpfropf und dann die Kugel auf. Die Explosion des Zündhütchens bringt die Baumwolle zum Explodieren.

„Ohne Ausnahme sind alle, welche den von mir angestellten Versuchen beigewohnt haben, auf das Vollständigste befriedigt, kein Aber hat sich hören lassen. Das unten gegebene Zeugnis ausgezeichneter, mit dem Gewehre vertrauter Männer mag meine Aussagen bestätigen. Indem ich nun diese wichtige Entdeckung gleichzeitig Deutschland, Frankreich, England, Russland, Amerika, überhaupt der allgemeinen Benutzung übergebe, wünsche ich, dass dieselbe recht bald auf die höchste Stufe der Vollkommenheit gebracht werden möge und hoffe vertrauensvoll, dass die höchsten und hohen Souveräne und Regierungen geruhen werden, mir das dafür zu geben, was ich, als Chemiker, ein Äquivalent nennen will.

„Die geehrten Redaktionen inländischer und ausländischer Zeitschriften werden mich durch Verbreitung dieses Aufsatzes sehr verpflichten."

Dr. Otto, Medizinalassessor und Professor der Chemie.

„Gestern, am 4. Oktober, haben wir den ersten Versuchen mit explodierender Baumwolle im hiesigen Laboratorium beigewohnt, und uns von den vollkommen befriedigenden Resultaten mit Schiessgewehr und scharfer Ladung überzeugt."

Braunschweig, am 5. Oktober 1846.

Dr. Hartig, Forstrath. A. v. Schwarzkoppen, Oberförster.

Schon am 6. Oktober folgte die nächste Mitteilung:

„Die mit der explosiven Baumwolle fortgesetzten Versuche haben es ausser Zweifel gesetzt, dass das Schiesspulver durch dieselbe verdrängt werden wird. In Bezug auf die Bereitung will ich der vorhergehenden Mitteilung das Folgende hinzufügen. Wenn man die Baumwolle in den bei der Destillation zuerst übergehenden Anteil der rauchenden Säure ungefähr eine halbe Minute lang eintaucht, sie dann zwischen Glasplatten auspresst, abwäscht etc., so erhält man ein Präparat von sehr ausgezeichneter Qualität. Benutzt man nun dieselbe Säure zur Bereitung noch anderer Partieen des explosiven Präparates, so wird dasselbe abnehmend immer weniger kräftig erhalten. Wird aber dieses Produkt, nachdem es gewaschen und getrocknet ist, nochmals mit der Säure behandelt und diese Behandlung auch selbst noch wiederholt, so steigert sich die Wirksamkeit im erstaunlichen Grade. Auch hat sich ergeben, dass Teilchen der Baumwolle, die fast 12 Stunden lang in der Säure gelegen, eine ausserordentliche Kraft besassen. Dies alles sind neue Fingerzeige zur Verbesserung des Präparates. Das Kriterium, dass das Präparat die erforderliche Beschaffenheit hat, um im Gewehre versucht zu werden, ist, dass es, zu einem Kügelchen geformt, auf einem Porzellanteller abblitzt, ohne den mindesten Rückstand zu hinterlassen, wenn es mit einem glimmenden Hölzchen entzündet wird. Brennt es langsam auf, beschlägt der Teller mit Feuchtigkeit und brenzlichen Produkten, so muss es wiederholt mit Salpetersäure behandelt werden. Die Wirkungen eines guten Präparates sind, ich spreche es nochmal aus, fast unglaublich. Aus einem

Taschenpistol, dessen Lauf abgeschraubt werden konnte, sind Kugeln von reichlich $1/_3$ Zoll Durchmesser mittelst einer Ladung von $^5/_4$ Gran (dem achtundvierzigsten Teil eines Quentchens, 11 Centigramme) mit der grössten Leichtigkeit durch zollstarke tannene Bretter geschlagen worden, wobei die Kugeln noch stark in die Hinterwände einschlugen. Mittelst 6 Gran (dem zehnten Teil eines Quentchens, 4 Decigramme) wurde eine Büchsenkugel auf 45 Schritt Entfernung 1 Zoll tief in eine eichene Bohle getrieben. An 30 Schüsse sind heute in Gegenwart von Artillerieoffizieren, Militärs überhaupt, Forstleuten, Büchsenmachern, Professoren etc. gethan worden.

„Da es mir gelungen ist, in der Zeit von drei Tagen ein so kräftiges explosives Präparat zu erzielen, so lässt sich mit Bestimmtheit erwarten, dass das Ideal realisiert werden wird. Dieses Ideal ist eine Baumwolle, in welcher eine Verbindung des Stickstoffes (Azote, Nitrogen) mit Sauerstoff (Hydrogène, Hydrogen) eingetreten ist, dass der Sauerstoff des so entstandenen Produktes ausreicht, allen Kohlenstoff (Carbone, Carbon) zu Kohlensäure (Acide carbonique, Carbonic acid) zu oxydieren, wenn es entzündet wird, so dass als Resultat der Entzündung nur Kohlensäuregas und Stickstoffgas und vielleicht etwas Wasserdampf auftreten.

„Die Vorzüge, welche die explosive Baumwolle vor dem Schiesspulver hat, springen in die Augen; nachdem 70 Schüsse aus einem Terzerol gethan, war auch nicht ein Anflug von Schmutz zu bemerken! Nach dem Schusse ist kein Geruch, kein Rauch wahrzunehmen; wie wichtig für den Land- und Seekrieg, für das Sprengen von Minen, von Erzen in den Gruben etc.!

„Meine Erfahrungen über unser Präparat werde ich fernerhin offen mitteilen und hoffe, dass dies auch von anderen mit gleicher Offenheit geschehen werde.“

Dr. Otto.

Dieses Versprechen hat Otto auch erfüllt. Am 9. Oktober veröffentlichte er Folgendes:

„Die Fortschritte in der Bereitung der explosiven Baumwolle, welche innerhalb dreier Tage in meinem Laboratorium gemacht worden sind, berechtigen zu den schönsten Hoffnungen. Ich will sie in Folgendem mitteilen. Es scheint, als ob nur die konzentrierte rauchende Salpetersäure, wie man sie durch Destillation von zehn Teilen Salpeter und sechs Teilen Vitriolöl erhält, die Baumwolle explosiv machen könne; Salpetersäurehydrat macht die Baumwolle zu einem Brei zergehen, und giebt kein gutes Resultat nach den bisherigen Versuchen. Auch rauchende Salpetersäure, welche die Baumwolle in eine breiige Masse verwandelt, scheint unbrauchbar. In wirksamer Säure wird die Baumwolle durchscheinend, behält aber vollkommen ihren Zusammenhang. Am wirksamsten ist der bei der Destillation zuerst übergehende Anteil — ein wichtiger Fingerzeig für das Darstellungsverfahren! Taucht man, wie in der früheren Mitteilung angegeben, in diesen die Baumwolle eine halbe Minute lang, presst man sie dann rasch zwischen Glasplatten oder Holzplatten aus, und wäscht man sie hierauf bis zur vollständigen Entsäuerung, so erhält man nach dem Trocknen ein äusserst kräftiges explosives Produkt. Versucht man nun, in der schon

benutzten Säure andere Partien Baumwolle explosiv zu machen, so würde dies Produkt schwächer. Behandelt man aber dieses schwächere Produkt nach dem Auswaschen und Trocknen von neuem mit der Säure, so resultieren ausgezeichnete Produkte. Man kann also das Präparat durch wiederholtes Eintauchen in die Säure verstärken. Die Zeitdauer der Behandlung mit Säure scheint nicht in so enge Grenzen eingeschlossen werden zu müssen, als ich anfangs glaubte; denn Baumwolle, welche 12 Stunden in der Säure gelegen, war sehr explosiv geworden. Von sehr grosser Bedeutung ist das sorgfältige Auswaschen; die letzten Anteile der Säure lassen sich nur höchst schwierig entfernen. Bleibt in dem Präparat Säure zurück, so riecht es nach dem Trocknen salpeterig, und giebt beim Abbrennen auf einem Porzellanteller einen sauren Anflug. Das lebhafte Abbrennen eines Kügelchens der explosiven Baumwolle auf einem Porzellanteller ist übrigens das Kriterium der Güte. Berührt man das Kügelchen mit einem glimmenden Spane, so muss es wie Schiesspulver aufblitzen, ohne einen Rückstand zu hinterlassen; erglimmt es langsam, lässt es Kohlen, so ist das Präparat untauglich, um im Gewehre benutzt zu werden. Von nicht minder grosser Bedeutung scheint es zu sein, dass die Baumwolle, nachdem sie in die Säure getaucht und durch Pressen von dem Überschuss an Säure befreit, sofort in einer grossen Menge Wassers auf das schnellste zerteilt werde. Die Operation gelingt deshalb am Besten mit kleinen Portionen. Bringt man die mit Säure getränkte Baumwolle, um sie zu waschen, in wenig Wasser, so erhitzt sie sich; es bilden sich, besonders bei grösseren Mengen, feste Klumpen, gewöhnlich von grünlicher oder bläulicher Farbe, die sich äusserst schwer zerteilen lassen und weit weniger wirksam erscheinen. Man kann sagen, dass das Produkt um so besser sei, je weniger es sich im Äussern von gewöhnlicher Baumwolle unterscheidet. Ein gut bereitetes Präparat besitzt, ich wiederhole es nochmals, höchst merkwürdige Eigenschaften, und ist im höchsten Grade explosiv. Mit $^5/_4$ bis $^6/_4$ Gran (dem vierzigsten Teile eines Quentchens) sind Kugeln von gut $^1/_8$ Zoll Durchmesser aus einem Taschenpistol durch zollstarke Bretter getrieben worden; mit 6 Gran (dem zehnten Teile eines Quentchens) wurde eine Büchsenkugel auf 45 Schritt Entfernung einen Zoll tief in eine eichene Bohle getrieben, und mit 4 bis 5 Gran sind die vortrefflichsten Schrotschüsse aus einem Jagdgewehre gethan worden. Ich gebe diese Gewichtsmengen als ungefähre Anhaltspunkte bei der Benutzung. Je lebhafter das Präparat beim Versuche abblitzt, je weniger Rückstand es hinterlässt, desto besser ist es, desto vorsichtiger sei man bei der Anwendung. Mir ist durch eine Ladung von anderthalb Gran eines äusserst kräftigen Präparates der messingene Lauf eines kleinen Terzerols zerschmettert worden, glücklicherweise ohne dass Unglück daraus entstand. Wie ich schon in der ersten Mitteilung angab, bin ich durch eine ältere Beobachtung von Pelouze auf die fragliche Entdeckung gekommen, nachdem die Zeitungen veröffentlicht hatten, dass es Schönbein, und später Böttger gelungen, explosive Baumwolle darzustellen. Dieselbe ist in meinem Lehrbuche der Chemie (2. Aufl. S. 136) mit folgenden Worten, nach Graham, mitgeteilt: ‚Die konzentrierteste Salpetersäure übt auf gewisse organische Substanzen, zum Beispiel

auf Holzfaser und Stärkemehl, eine kurze Zeit hindurch keine heftige Wirkung aus, sondern vereinigt sich mit denselben, und bildet eigentümliche Verbindungen. Taucht man Papier eine Minute lang in die höchst konzentrierte Säure, und wäscht man es dann in Wasser, so findet man, dass es etwas aufgequollen, und fast so zäh wie Pergament geworden ist; nach dem Trocknen zeigt es sich sehr entzündlich, es fängt schon bei 180° C. Feuer, und verbrennt ohne Geruch nach salpeteriger Säure (Pelouze).' Ich teile diese Worte mit, damit man erkenne, dass von Pelouze keine weitere Anwendung dieser Beobachtung gemacht worden ist. Wenn Schönbein's Präparat mit dem meinigen identisch ist, so gebührt diesem Chemiker die Ehre, zuerst die Beobachtung von Pelouze technisch wichtig gemacht zu haben, denn sowohl Böttger als ich sind erst durch Schönbein's Resultate veranlasst worden, uns mit dem Gegenstande zu beschäftigen. Ich nehme das Verdienst in Anspruch, das Verfahren zur Bereitung eines explosiven Präparates, von dem ich durchaus nicht weiss, ob es dasselbe ist, was Schönbein und Böttger dargestellt haben, wenn auch nur in den ersten Anfängen, behufs möglichst schneller Vervollkommnung veröffentlicht zu haben."

Otto's Schiessbaumwolle war mit derjenigen Schönbein's und Böttger's identisch, das Herstellungsverfahren aber ein weniger vollkommenes. Für die Nitration speziell von Baumwolle ist es sehr günstig, wenn durch Schwefelsäure-Zusatz die Menge der Nitrierflüssigkeit wächst; so wird es möglich, die zu nitrierende Baumwolle gut mit der Flüssigkeit zu durchweichen und ein namentlich beim Auswaschen leicht eintretendes Verfilzen zu vermeiden, ohne einen bedeutenden Überschuss an der verhältnismässig teuren Salpetersäure anwenden zu müssen; auch bei allen anderen Nitrationen wird aber der Nitrationsvorgang durch die Anwesenheit konzentrierter Schwefelsäure günstig beeinflusst: diese bekanntlich sehr hygroskopische Säure zieht in der Salpetersäure enthaltenes Wasser mitsammt dem sich bei jeder Nitration bildenden an sich, und man darf schwächere, also billigere Salpetersäure verwenden. Die Entwässerung von Salpetersäure durch hinzugesetzte Schwefelsäure war in der Zeit Schönbein's längst allgemein bekannt (vgl. T. I, S. 218—219), und es konnte nicht fehlen, dass man sie sehr bald auch auf die Herstellung des von ihm erfundenen Explosivstoffes anwandte. Schon vor der Mitte Oktober erfolgten von dem berühmten Technologen Karmarsch und Heeren in Hannover, von Dr. Knop, Dozenten der Chemie an der Leipziger Universität und noch von mehreren anderen Seiten, die weniger Beachtung fanden, Veröffentlichungen über in diesem Sinne abgeänderte Verfahren zur Herstellung von Schiessbaumwolle.

Karmarsch und Heeren schrieben am 13. Oktober in der „Hannoverschen Zeitung":

„Mit der Bereitung explosiver Baumwolle nach dem Verfahren des Professors Otto beschäftigt, haben wir uns bemüht, eine bequemere und weniger

kostspielige Darstellungsart der, in so bedeutender Menge erforderlichen, höchst konzentrierten Salpetersäure zu finden. Denn da eine hinlänglich schnelle und vollständige Durchtränkung der so lockeren Baumwolle eine grosse Menge der mit Mühe bereiteten Säure in Anspruch nimmt, die aus der Baumwolle ausgepresste Säure aber einen grossen Teil ihrer Wirksamkeit verloren hat, wodurch die Kosten zu einer exorbitanten Höhe heranwachsen, so besteht für jetzt die Hauptaufgabe darin, in dem Verbrauche der Salpetersäure Beschränkungen und in ihrer Gewinnung Vereinfachungen anzubringen. Wir haben nun gefunden, dass man sich zu dem vorliegenden Zwecke der gewöhnlichen, im Handel vorkommenden rauchenden Salpetersäure bedienen kann, wenn man ihr eine kleine Menge rauchendes Vitriolöl zusetzt, wodurch sie infolge von Wasserentziehung augenblicklich zu dem erforderlichen Grade von Konzentration gelangt. Nach unseren, freilich erst eintägigen Erfahrungen, ist ein Raumteil Vitriolöl hinreichend, um drei bis vier Raumteile rauchende Salpetersäure hinlänglich zu entwässern. Es versteht sich, dass die Säuren aufs innigste gemengt werden müssen, weil sonst das infolge der grösseren Schwere zu Boden sinkende Vitriolöl eine Zersetzung der Baumwolle bedingen könnte. Die aus der Baumwolle wieder ausgepresste Säure ist nun keineswegs verloren, sondern kann durch neuen Zusatz einer kleinen Menge Vitriolöl auf den vorherigen Konzentrationsgrad zurückgebracht, und so mehrere Male wieder benutzt werden. Wie viele Male eine solche Auffrischung der gebrauchten Säure zulässig sein wird, müssen fernere Erfahrungen zeigen. Würde nun die Baumwolle nach der Tränkung zwischen ein Paar kleiner Walzen von geeignetem Material (etwa Platin) stark ausgepresst, so würde sich der Verbrauch an Salpetersäure wahrscheinlich auf ein Minimum reduzieren lassen. Ein im höchsten Grade explosives Präparat haben wir gewonnen, als die in der gemischten Säure behandelte, ausgewaschene und getrocknete Baumwolle zum zweiten Male in derselben, nur mit ein wenig Vitriolöl aufgefrischten Säure getränkt wurde. Vorlaufige Schiessversuche mit der von uns präparierten Baumwolle haben sehr genügende Resultate gegeben."

Dr. Knop beschrieb am 11. Oktober in der „Deutschen Allgemeinen Zeitung" ein Verfahren, das noch durch den Ersatz des Vitriolöls durch die bedeutend billigere „englische" Schwefelsäure erheblich vervollkommnet war:

„Man nehme gleiche Gewichtsteile käuflicher englischer Schwefelsäure und roter rauchender Salpetersäure, wie sie im Handel vorkommt (Acid. nitric. fumans), vermische beide in einem Porzellangefässe, tauche in dieses Gemisch sogleich so viele Baumwolle, als von der Flüssigkeit überdeckt wird, und bedecke das Gefäss mit einer gut schliessenden Glasscheibe. Das Gemenge erwärmt sich; wenn man die ganze Masse einige Minuten bei gewöhnlicher Temperatur stehen lässt, die Baumwolle sodann in kaltes Wasser wirft und recht gut mit kaltem Wasser auswäscht, so erhält man ein höchst wirksames Präparat. Man hat nur darauf zu sehen, dass die Baumwolle nicht so lange in der Flüssigkeit bleibe, bis sie teilweise aufgelöst ist, auch bemerke ich, dass jenes bestimmte Verhältnis beider Säuren und jene Zeitdauer wahrscheinlich nicht so genau erforderlich ist,

dass im Gegenteil die Menge Schwefelsäure vielleicht viel geringer, auch vielleicht eine kürzere Zeit genügend sein kann. Die auf obige Weise dargestellte Baumwolle muss vor der Anwendung vollkommen in warmer Luft getrocknet sein. In diesem Zustande kann man sie von der natürlichen kaum unterscheiden. Mit 12 Gran dieser Baumwolle schoss der Zieler am hiesigen Schützenhause, Hr. Wolf, aus einer Büchse, deren gewöhnliche Ladung 28 Gran Schiesspulver beträgt, heute bei den ersten Versuchen auf 99 Schritt die Kugel durch eine zwei Zoll starke eichene Pfoste und ein zwei Zoll starkes, dahinter befindliches Tannenbrett hindurch. Die Kugel war hinter den Brettern noch tief in den Erdwall gedrungen. Dieses Präparat blitzt, auf der flachen Hand angezündet, so schnell ab, dass man keinen Schmerz empfindet. Auf Schiesspulver gelegt und von oben entzündet, brennt es ab, ohne das Schiesspulver zu entzünden."

Diese zahlreichen und ausführlichen Veröffentlichungen gaben Jedermann die Möglichkeit, Schiessbaumwolle zu bereiten, und während der Erfinder sein Verfahren noch mehrere Monate lang geheim hielt, wurde schon im Oktober 1846 allseits Nitrocellulose verpufft, zu deren Herstellung man bald statt der Baumwolle auch Hanf, Flachs, Holzfaser und andere Cellulosearten mit Erfolg versuchte. Der Enthusiasmus für die neue Erfindung stieg jetzt natürlich noch, und selbst der hartnäckigsten Pessimisten Zweifel verstummten. —

Was man damals von der Schiessbaumwolle erhoffte, ist heute thatsächlich erfüllt; sie ist heute, was Jahrhunderte lang das Schiesspulver war. Doch was nach den Hoffnungen jener Zeit binnen Monaten oder Wochen eintreten sollte, hat vier Jahrzehnte zu seiner Vollendung gebraucht, und als Schönbein im Jahre 1868 das Zeitliche segnete,[1]) schien seine Schiessbaumwolle den ihr vom Erfinder gegebenen Namen recht unverdientermassen zu tragen: sie diente zum Schiessen so gut wie gar nicht und fristete nur in anderen Verwendungsarten ein bescheidenes Dasein. In diesem ab- und aufsteigenden Schicksalslauf der Nitrocellulose sind drei Perioden deutlich zu unterscheiden. In der ersten wird die Schiessbaumwolle unter Vorantritt von Staatsbehörden fast aller Kulturländer Versuchen unterworfen, die mit grossen Hoffnungen beginnen, in den meisten Staaten aber schon nach wenigen Jahren mit völligem Verzicht auf eine Verwendung des neuen Explosivstoffes für Heereszwecke abschliessen. Am längsten setzt Österreich die Versuche fort; auch hier führt aber die an der Schiessbaumwolle zumeist beklagte Zersetzlichkeit

[1]) Schönbein starb am 29. August 1868 auf dem Gute Sauersberg bei Baden-Baden, bei einem Freunde aus Basel, den er auf der Rückkehr aus dem Bade Wildbad besuchte. Das diesem Bande vorangestellte Bildnis, welches ich der Güte der Herren Prof. Hagenbach und Photograph Blumenthal verdanke, wurde während des letzten Aufenthalts Schönbein's in Wildbad aufgenommen; es zeigt also den Erfinder der Schiessbaumwolle, wie er zuletzt unter den Lebenden weilte.

und zerstörende Einwirkung auf die Feuerwaffen endlich dazu, dass sie im Jahre 1862 als Treibmittel und drei Jahre später auch als Sprengmittel „endgültig“ abgeschafft wird. In der zweiten Periode sehen wir die Nitrocellulose als Schiessmittel fast nur in der Hand von Privaten, die mit ihr meistens nur ältere Bestrebungen fortsetzen; für Sprengzwecke aber beginnt man sie in dieser Periode in einer Reinheit herzustellen, die ihre chemische Stabilität sichert und es so ermöglicht, dass, nachdem man gegen das Jahr 1886 auch die übermässige Brisanz der Schiesswolle in Feuerwaffen überwunden, das Schönbein'sche Präparat in seine glänzendste und wohl noch eine lange Dauer versprechende Schicksalsperiode eintritt. Wir werden die drei Perioden in chronologischer Reihenfolge an uns vorübergehen lassen; schon das Verständnis der Erscheinungen in der ersten aber wird wesentlich gefördert werden, wenn wir uns gleich von vorn herein auf den Beobachtungsstandpunkt stellen, den uns der gegenwärtige Stand der Wissenschaften einzunehmen gestattet.

VII.

Die Schiessbaumwolle bis zu ihrer Abschaffung in Österreich.

So langsam zum teil die Erkenntnis der Gründe fortschritt, welche die besonderen Eigenschaften der Nitrocellulose verursachen, so bald war man über das Vorhandensein dieser Eigenschaften im Klaren. Schon die ersten Berichte über den neuen Explosivstoff heben diejenigen seiner Eigenschaften hervor, welche dann immer wieder zu Versuchen mit ihm ermunterten, und diejenigen, welche zeitweilig an seinem Geeignetsein zum Ersatz des alten Schiesspulvers ganz verzweifeln liessen: was man dem neuen Schiesspräparat im Vergleich zum alten Pulver hauptsächlich nachrühmt, ist seine bei weitem grössere Kraftentwickelung, der fast gänzlich fortfallende Rauch und Rückstand und die erhebliche Abnahme der Erhitzung der Rohre, des Knalles und des Rückstosses; was man ihm vorwirft, ist die Gefährlichkeit seiner Herstellung und besonders Lagerung und die Ungleichmässigkeit und allzugrosse Brisanz seiner Wirkung in Feuerwaffen.

Wie schon gelegentlich hervorgehoben, ergiebt die Verbrennung der Schiessbaumwolle in Feuerwaffen nur auch bei gewöhnlicher Lufttemperatur gasförmig bleibende Produkte und für den Gesichtssinn bald verschwindenden Wasserdampf. Um das Jahr 1846 war die Feuergeschwindigkeit der Schusswaffen noch immer nicht gross genug, um die Rauchschwäche eines Schiesspräparates in die erste Linie seiner Vorzüge zu setzen, und auch der Pulverrückstand wurde bei den glatten, mit bedeutendem Spielraum in das Rohr passende Rundgeschosse schleudernden Geschützen und den fast allein in Gebrauch befindlichen, ein Eindringen des Pulverschleims in den Schlossmechanismus ausschliessenden Vorderladungs-Handfeuerwaffen nicht besonders unangenehm empfunden; immerhin war auch damals die Freude über die äusserst geringe Rauchentwickelung

des neuen Schiessmittels und den mit ihr verbundenen fast absoluten Fortfall eines Rückstandes gross — und besonders: ungetrübt; denn bei allen anderen Vorzügen der Schiessbaumwolle zeigte es sich bald, dass sie ihr Vorhandensein hauptsächlich einer Eigenschaft des neuen Treibmittels verdankten, welche durch ihr Übermass seinen endlichen Sieg über das alte Pulver noch um mehr als ein Menschenalter hinausschieben sollte: seiner Verbrennungsgeschwindigkeit, die schon im Früheren (S. 81—85) als im Vergleich zu derjenigen anderer Explosivstoffe ausserordentlich gross charakterisiert wurde.

Die ersten offiziellen Angaben über die Ergebnisse vergleichender Schiessversuche mit Schiessbaumwolle und Schwarzpulver gelangten von England aus in die Öffentlichkeit: Schönbein selbst schreibt aus England, wohin er sich im August 1846 begeben, am 18. Oktober an die „Allgemeine Zeitung“, 3 Gewichtsteile seines Schiesspräparates hätten in Geschützen ebensoviel geleistet, wie 8 Teile besten Schwarzpulvers. Im Durchschnitt dasselbe Verhältnis — also etwa zweieinhalbmal grössere Leistung der Schiessbaumwolle — finden wir auch in der Folge immer wieder: so z. B. in der nächsten Tabelle dieses Buches für französische Gewehrversuche in den Jahren 1847 und 1848 und in der neuesten deutschen Schiessvorschrift für die Feldartillerie, welche 0,64 kg des aus Nitrocellulose bestehenden Geschütz-Blättchenpulvers als 1,5 kg des alten Pulvers gleichwertig nennt. Diese Überlegenheit der Nitrocellulose ergiebt sich zum kleineren Teil aus ihrer grösseren potentiellen Energie, zum grösseren daraus, dass ihre bei weitem grössere Verbrennungsgeschwindigkeit gestattet, bei ihr einen bei weitem grösseren Teil der potentiellen Energie ballistisch nutzbar zu machen, als beim Schwarzpulver.

Wie viel potentielle Energie ein Explosivstoff besitzt, d. h. wie viel mechanische Arbeit er überhaupt leisten kann, erfahren wir natürlich ganz genau, wenn wir die bei seiner Explosion entwickelte Wärmemenge messen. Leider ist gerade mit starken Explosivstoffen schwer im Calorimeter zu operieren: Explosionsdrücke, wie sie bei der praktischen Anwendung dieser Stoffe in Betracht kommen, darf man aus leicht begreiflichen Gründen nicht entstehen lassen; und untersucht man bei geringeren Drücken, so läuft man bei allen Explosivstoffen, die mehr als einer Zersetzungsart fähig sind, Gefahr, ganz andere Wärmemengen zu messen, als in der Praxis des Sprengens und Schiessens entstehen. Für die Schiessbaumwolle sind diese Bedenken durch die bereits mehrfach berührten dankenswerten Untersuchungen von Vieille und Sarrau beseitigt worden.

Die von Sarrau und Vieille untersuchte, aus der Staatsfabrik Moulin-Blanc stammende Schiessbaumwolle hatte folgende Zusammensetzung, die

zwar nicht gerade die höchste fabrikmässig erreichte Nitrationsstufe anzeigt, aber doch als günstig zu bezeichnen ist:

Kohlenstoff	24,0 %
Wasserstoff	2,4 „
Sauerstoff	55,6 „
Stickstoff	12,7 „
Feuchtigkeit	2,6 „
Mineralischer Rückstand . .	2,4 „ [1])

Die beiden Forscher überzeugten sich zunächst, indem sie verschiedene Mengen dieser Schiessbaumwolle in dem gleichen, mit Noble'schen Stauchapparat (vgl. S. 32), elektrischer Zündvorrichtung und Abzugshahn für die Explosionsgase versehenen Stahlgefässe explodieren liessen, dass noch, wenn das Stahlgefäss nur 23 g Schiessbaumwolle für den Liter seines Rauminhalts erhielt, die Explosionsgase keinen freien oder mit Stickstoff verbundenen Sauerstoff enthielten, also für sich selbst (ohne Luftzutritt) nicht mehr explosiv waren und thermochemisch betrachtet nicht erheblich von Produkten abwichen, die bei mehreren Tausend Atmosphären Druck erhalten wurden. Die folgende Tabelle zeigt die Resultate dieser Versuche; die Atmosphärenzahlen sind ohne die im Jahre 1882 getroffenen Verbesserungen (S. 81—85) bestimmt; doch da in der ganzen Versuchsreihe stets annähernd derselbe Fehler begangen wurde, können sie zur Vergleichung dienen.

Verhältnis der Ladung in g zum Explosionsraum in kbcm	0,023	0,200	0,300
Gasdruck in Atmosphären	250	3090 [2])	5920
Explosionsgase (in Volumprocenten)			
Kohlensäure	23,72	28,68	30,42
Kohlenoxydgas	43,24	37,61	36,28
Wasserstoff	17,28	18,95	18,76
Stickstoff	15,76	14,85	14,54

Die Menge des ausser diesen Produkten stets auch gebildeten Wassers konnte, da sich der Wasserstoff offenbar stets nur entweder mit Sauerstoff zum Wasser verbunden hatte, oder frei geblieben war, immer leicht und

[1]) Nach den S. 84 wiedergegebenen Resultaten der vervollkommneten Druckversuche würde hier der Druck (unter Zugrundelegung der mit Stempeln von sehr verschiedenem Gewicht erzielten Stauchung von 5,40 mm) 1985,5 Atmosphären betragen haben.

[2]) Die Schiessbaumwolle hatte offenbar den vielfach üblichen Zusatz von etwa 2 % Kreide oder Soda, welcher alkalische Zusatz etwa zurückgebliebene Säure neutralisieren soll.

sicher berechnet werden; in dem durch die Ziffern der ersten Kolonne vorstehender Tabelle gekennzeichneten Falle wurde sie auch (wahrscheinlich indem man das Explosionsgefäss vor dem Öffnen des Abzugshahns für die Gase bis zur vollständigen Verdichtung des Wasserdampfes abkühlte) unmittelbar gewogen und betrug 15,6 % der verbrannten Schiessbaumwolle, oder nach Abzug der in letzterer enthalten gewesenen Feuchtigkeit 13 %.

Die Wärmemenge, welche bei einer Explosion zur Umwandlung in mechanische Arbeit verfügbar wird, ist natürlich gleich der Differenz zwischen derjenigen Wärmemenge, welche der explodierende Stoff bei seiner Zusammensetzung abgegeben hat und zu seiner Zersetzung wieder braucht, und derjenigen, welche die bei der Explosion entstehenden neuen Produkte abgeben. Berechnen wir nun thermochemisch die Mengen Wärme, welche die in obiger Tafel genannten Produkte der ersten und der dritten Explosion mitsammt dem entsprechenden Wasser bei ihrer Entstehung abgegeben haben müssen, so fallen sie so wenig verschieden aus, dass wir nach ihrem Abzug von der natürlich in beiden Fällen gleichen Zersetzungswärme des Anfangsproduktes (Berthelot a. a. O. Bd. II, S. 234) zwei fast identische Zahlen: 1074 und 1076 Cal. erhalten. Messen wir also die bei der Explosion unter dem auf 250 Atmosphären geschätzten Druck für Aussenwirkungen verfügbar werdende Wärmemenge unmittelbar im Calorimeter, so erfahren wir damit auch, wieviel Wärme sich bei Explosionen unter Druckverhältnissen, wie sie in der Praxis des Explosivstoff-Technikers in Betracht kommen, ergiebt.

Die Messung nahmen nun Sarrau und Vieille wiederholt und mit grosser Sorgfalt vor. 7 g Schiessbaumwolle wurden in dem 305 kbcm haltenden kupfernen Verbrennungsgefäss des Calorimeters, welches die Explosion vollkommen aushielt, auf elektrischem Wege entzündet. Das Wasser, in welches das Verbrennungsgefäss eingetaucht wurde und dessen Temperaturerhöhung während der Operation zur Bestimmung der freiwerdenden Wärme diente, hatte vor der Explosion + 18° C. Als Resultat ergaben sich zuerst 1043 Cal. aus dem Kilogramm Schiessbaumwolle (Ber. der Par. Akad. Bd. LXXXIX, S. 166) und bei späteren Versuchen (ebend. Bd. XCIII, S. 270) sogar 1070,7 Cal.; eine Zahl, deren Übereinstimmung mit dem oben genannten Ergebnis einer theoretischen Berechnung in Anbetracht der Unvermeidlichkeit von Wärmeverlusten bei dem calorimetrischen Versuch gewiss eine genügende Genauigkeit beider erhärtet und etwa 1070 Cal. als Wärmeergebnis der Explosion eines Kilogramms Schiessbaumwolle zu bezeichnen gestattet. — Für Schwarzpulver ist, wie bereits in einem früheren Abschnitt (S. 9) erwähnt, die entsprechende Zahl etwa 750.

Multiplizieren wir beide Zahlen mit 424,4, so erhalten wir die Anzahl der Kilogrammeter lebendige Kraft, welche ein Kilogramm von jedem der beiden Explosivstoffe in einer Feuerwaffe dem Geschoss mitteilen würde — wenn es gelänge, die ganze von der Explosion entwickelte Menge Wärme für die Fortbewegung des Geschosses nutzbar zu machen. Es gelingt dies leider in der Praxis immer nur zu einem Bruchteil. Bei den Krupp'schen Versuchen z. B., deren Resultate auf S. 32 gegeben wurden, ergab das Kilogramm Pulver C/75, welches gewiss wenigstens die durchschnittliche Zahl von 750 Calorieen Wärme entwickelte, also theoretisch $750 \times 424{,}4 = 318300$ Kilogrammmeter oder 318,3 Metertonnen lebendige Kraft des Geschosses hätte liefern können, nur 42,3 Meterkilogramm, und diese Pulverausnutzung ist noch eine durchaus günstige zu nennen.

Ein Teil der Pulverkraft wird natürlich stets durch einen Rücklauf oder Formveränderungen im Material veranlassende Einwirkungen auf die Waffe (vgl. S. 36—38) aufgezehrt; dies ist aber nicht die einzige und nicht die hauptsächlichste Verlustquelle.

Zunächst geht bei jedem Schiessen ein ganz erheblicher Teil der von der Ladung entwickelten Wärme unmittelbar als solche durch Erhitzung des Laufes u. s. w. verloren; das zeigen z. B. sehr interessante Versuche über den Wärmeverlust beim Schiessen, die auf Veranlassung des bereits einmal (S. 12) genannten Grafen Paolo di San Roberto in Turin angestellt wurden (vgl. dessen „Principes de Thermodynamique", Turin 1865, S. 170 ff.).

Zu diesen Versuchen hat man drei möglichst gleiche, gezogene Stahlläufe gewählt, aus denen mit der vorgeschriebenen Pulverladung von 4,5 Gramm und mit Spitzgeschossen von 33 Gramm geschossen wurde. Bei dem Laufe No. 1 war das Geschoss bis an die Pulverladung geladen, bei dem Laufe No. 2 war es bis auf 0,02 Meter von der Mündung gelagert, und aus dem Laufe No. 3 wurde ohne Geschoss gefeuert. Jeder Lauf war bei den Versuchen mehrmals mit einer weissen Wolldecke umwickelt, welche um ihn vermittelst eines Bandes von derselben Wolle befestigt wurde. Nachdem man die Temperatur der Läufe angemerkt hatte, wurde mit jedem derselben eine gewisse Anzahl Schüsse unter möglichst gleichen Umständen abgegeben. Hierauf füllte man jeden Lauf mit Quecksilber von bekannter Temperatur, schloss die Mündung mittels eines Guttapercha-Pfropfes, durch den ein Thermometer ging, und verzeichnete danach die Maximal-Temperatur. Man erhielt auf diese Weise die in nachstehender Tabelle (S. 134) verzeichneten Resultate.

	Lauf No.											
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Temperatur des Laufes vor dem Schusse in Graden	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	18,1	18,2	18,4	13,5	14,1	15,0
Anzahl der Schüsse	1	1	1	5	5	5	10	10	10	50	50	50
Temperatur des Laufes, angefüllt mit Quecksilber nach dem Schiessen, in Graden . . .	16,7	17,1	16,8	23,1	31,8	26,9	33,4	43,2	38,4	54,0	89,0	79,5

Die Temperatur des in die Rohre gegossenen Quecksilbers wurde stets gleich der Temperatur derselben vor dem Schiessen gefunden. Die lebendige Kraft des Geschosses betrug beim Austritte aus dem Laufe 315 Kilogramm-Meter, wenn das Geschoss an die Ladung angeschoben war, und 102 Kilogramm-Meter, wenn das Geschoss 0,02 Meter von der Mündung gelagert wurde. Die Läufe No. 1, 2 und 3 wogen der Reihe nach 2,050, 2,064 und 2,042 Kilogramm. Das zum Füllen notwendige Quecksilber wog für jeden Lauf 3,350 Kilogramm. Die specifische Wärme des Stahles beträgt 0,118 und die des Quecksilbers 0,033. Man findet mit Hülfe dieser Zahlen und jener der obigen Tabelle die durch die Stahlläufe beim Schiessen abgeleitete Wärme, und zwar beträgt die durch den Lauf abgeleitete Wärmemenge in Calorieen

	Lauf No. 1	No. 2	No. 3
bei 1 Schuss	0,881	1,027	0,914
„ 5 „	3,137	6,232	4,464
„ 10 „	5,392	8,853	7,030
„ 50 „	14,274	26,522	22,672

Der Mittelwert der durch den Lauf für jeden Schuss abgeleiteten Wärmemenge in Calorieen ist daher

	No. 1	No. 2	No. 3
bei 1 Schuss	0,881	1,027	0,914
„ 5 „	0,627	1,246	0,893
„ 10 „	0,539	0,885	0,703
„ 50 „	0,285	0,530	0,453

Die Wiederholung des Versuches zu 1 Schuss ergab bei dem

Lauf No. 1	No. 2	No. 3
1,093	1,169	1,090

Dieses, im Vergleiche mit der ersten Zahlenreihe, merklich grössere Ergebnis ist der höheren Lufttemperatur beizumessen, welche während dieser Versuche herrschte und verursachte, dass weniger Wärme durch die Berührung mit der Luft und durch Strahlung verloren ging.

Alle hier festgestellten Verlustziffern sind natürlich noch um den Betrag derjenigen Wärmemengen zu klein, die trotz der Einhüllung der Läufe gewiss stets von den letzteren durch Leitung und Strahlung an die umgebende Luft abgegeben worden sind; trotzdem zeigen sie sehr bedeutende Verluste an, da doch die 4,5 g betrragende Schwarzpulverladung überhaupt nur etwa 3,375 Calorieen entwickelte und davon beim ersten Schuss oft mehr als eine ganze Calorie an den Lauf abgeben musste; bei fortgesetztem Schiessen und steigender Temperatur des Laufes wurde der Verlust natürlich immer geringer, bildete jedoch auch noch im Durchschnitt aus 50 Schüssen einen ansehnlichen Bruchteil.

Zugleich zeigen die Verlustziffern, dass für die Höhe des Verlustes unter sonst gleichen Umständen viel weniger die Verbrennungstemperatur, als die Zeitdauer bestimmend ist, während welcher die Explosionsgase auf den Lauf erwärmend einwirken können. Nur so ist es zu erklären, dass, als das Geschoss ganz nahe an der Mündung eingesetzt wurde, trotz der jetzt gewiss weniger vollkommenen, also auch weniger Wärme entwickelnden Verbrennung des Pulvers, und trotzdem auch die zur Erhitzung beitragende Reibung des Geschosses an den Laufwänden hier fast gänzlich fortfiel, der Lauf stets weit mehr erhitzt wurde, als nach normaler Lage des Geschosses. Beim Schiessen ganz ohne Geschoss war wieder das Entweichen der Explosionsgase zu sehr erleichtert; trotzdem wurden auch hier stets verhältnismässig hohe Erhitzungsziffern festgestellt. Mit Schiessbaumwolle oder Schiessbaumwollpulver an Stelle des Schwarzpulvers im Lauf einer Feuerwaffe ohne Geschoss oder wenigstens eine einigen Widerstand bietende Vorlage erzielt man überhaupt kaum eine als Explosion zu bezeichnende Verbrennung; die mehr oder weniger vollständige Vollendung der möglichen wärmeentwickelnden Vorgänge in der Ladung ist bei diesem Explosivstoff noch weit mehr, als beim Schwarzpulver, von dem Explosions**druck** abhängig, und wenn man mit Schiesswollpulver im Manöver oder zu Salutzwecken schiessen will, so muss man der Pulverladung eine Vorlage geben. Diese Vorlage — bei Geschützen z. B. meistens ein walzenförmiges Bündel von feinen Holzspänen, welches sich in kurzer Entfernung vor der Rohrmündung unschädlich zerteilt — bietet den Explosionsgasen bei weitem nicht den Widerstand, wie das normale Geschoss, veranlasst also auch keinen so hohen Druck und keine so vollkommene Verbrennung der hier überdies stets weit kleineren Pulverladung; trotzdem weiss jeder Artillerist, dass bei solchem Schiessen die Geschütze wärmer werden, als beim scharfen Schiessen mit rauchschwachem Pulver und blindem Schiessen mit Schwarzpulver. Schiesst man aber mit beiden Treibmittelarten scharf, so ergiebt die Nitrocellulose trotz ihrer wahrscheinlich höheren Flammentemperatur stets geringere Wärmeverluste

an den Lauf.[1]) So konnten z. B. bei vergleichenden Erhitzungsversuchen mit v. Lenk'scher Schiesswolle und Schwarzpulver mit der ersteren aus einem Sechspfünder innerhalb 34 Minuten 100 Schüsse abgefeuert werden, ohne dass die Temperatur des Geschützes höher als bis etwa 50° C. stieg, und das Feuer wurde ohne Nachteil sogar bis zu 180 Schüssen fortgesetzt, während bei Anwendung von Schiesspulver nach 100 Schüssen, welche — hauptsächlich da hier nach 30 Schüssen stets schon der Rückstand ein ununterbrochen fortgesetztes Schiessen unmöglich machte — 100 Minuten erfordert, die Temperatur schon so gesteigert war, dass Wasser auf dem Geschütz rasch verdampfte. Bei vergleichenden Schiessversuchen aus dem dänischen Infanteriegewehr M. 1889, welches ursprünglich für Schwarzpulver-Munition bestimmt war und erst nachträglich Munition mit rauchschwachem Nitrocellulose-Pulver erhielt, ergaben im Schnellfeuer von 12 Patronen in der Minute jedesmal nach 20 Schüssen vorgenommene Messungen der Lauftemperatur folgende Resultate (nach Holzner, Moderne Kriegsgewehre, Wien 1891):

Patronen mit	Nach . . . . Schüssen					
	20	40	60	80	100	120
Rauchschwachem Pulver	102°	160°	201°	226°	240°	245°
Schwarzpulver	129°	190°	228°	252°	264°	267°

Es stellte sich also beim rauchschwachen Pulver die Lauferhitzung durch 20 Schüsse im allgemeinen als um 22 bis 27° C. geringer heraus, als beim Schwarzpulver.

Ausser der Wärmeabgabe an das Material der Waffe entsteht ein weiterer Wärmeverlust beim Schiessen stets deshalb, weil es praktisch unmöglich ist, die Läufe von Feuerwaffen so lang zu machen, dass im Augenblick, wo das Geschoss den Lauf verlässt, die Gase der Treibladung keine Energie mehr in sich führten. Sie besitzen stets noch eine

[1]) Die Flammen-(Verbrennungs-)Temperatur ist natürlich stets gleich der entwickelten Wärmemenge, dividiert durch die specifische Wärme der Verbrennungsprodukte. Auf diesem Wege hat v. Wuich die Verbrennungstemperatur des Schwarzpulvers auf etwa 2000°, die der Schiessbaumwolle auf etwa 2500° veranschlagt. Die specifische Wärme von Gasen bei den hier in Betracht kommenden Temperaturen von Tausenden von Graden kann leider aus leicht begreiflichen Gründen immer nur annähernd abgeschätzt werden, so dass solche Berechnungen immer nur annähernd richtige Resultate ergeben können; die von Wuich aufgestellte Berechnungsmethode gestattet aber zweifellos eine weit grössere Annäherung, als die früher angewandten, und wir verdanken ihr noch eine Reihe von wertvollen Ergebnissen, auf die noch des näheren zurückzukommen sein wird.

hohe Temperatur und Spannung — und oft wohl auch noch die Fähigkeit, durch das Eingehen neuer Verbindungen mit einander neue Wärmemengen zu erzeugen; oft bildet sich wohl ein Teil der Endprodukte der Explosion erst ausserhalb des Laufes, und die dabei freiwerdenden Wärmemengen gehen unbenutzt in die Luft: schwefligsaures Kali z. B., welches sich unter den Endprodukten der Schwarzpulver-Explosion oft findet, kann sich erst bilden, wenn die Temperatur der Gase weit unter 1000° C. gesunken ist (Berthelot Bd. II S. 276). Dem Ideal einer vollkommenen Energie-Ausnutzung nähern kann man sich aber natürlich am leichtesten mit schnell wirkenden Treibmitteln; und darin liegt es hauptsächlich begründet, dass die Schiessbaumwolle in Läufen von durchschnittlicher Länge unter sonst gleichen Umständen noch weit mehr leistet als $\frac{1070}{750}$ der Leistung des Schwarzpulvers, und in kurzen verhältnismässig mehr, als in langen. Die letztgenannte Thatsache fiel z. B. schon bei den ersten Versuchen auf, die mit dem neuen Treibmittel in Preussen gemacht wurden, und über die ein Bericht im „Militär-Wochenblatt", 1846, No. 48 (auch in Dingl. Polyt. Journ. Bd. CIII, S. 53 ff.) veröffentlicht ist. Man erhielt:

beim Gewehrlauf:

mit	160	Gran	Gewehrpulver	1176,8	Fuss	Anfangsgeschwindigkeit
„	100	„	„	1133,7	„	„
„	30	„	Schiesswolle	1027,5	„	„
„	20	„	„	764,7	„	„

beim Karabinerlauf:

mit	120	Gran	Gewehrpulver	1032,6	Fuss	Anfangsgeschwindigkeit
„	30	„	Schiesswolle	1085,8	„	„
„	20	„	„	539,4	„	„

beim Pistolenlauf:

mit	120	Gran	Gewehrpulver	777,6	Fuss	Anfangsgeschwindigkeit
„	30	„	Schiesswolle	890,3	„	„
„	20	„	„	658,0	„	„

bemerkte also, „dass sich der Vorzug der Baumwolle besonders bei kurzen Röhren auszusprechen scheint."

Noch deutlicher tritt der eben besprochene Vorzug der Nitrocellulose dem Schwarzpulver gegenüber in Erscheinung, wenn man aus allmählich verkürztem Lauf mit Schiessbaumwolle und mit Schwarzpulver schiesst. Solche Versuche wurden in den Jahren 1847 und 1848 von der in Frankreich zur Prüfung des neuen Treibmittels eingesetzten

Kommission[1]) ausgeführt: die folgende Tabelle zeigt ihre Ergebnisse. Die Geschossgeschwindigkeiten (nach denen auch die mittleren Gasdrücke berechnet wurden) sind zwar nur mit Hülfe eines Apparates nach Art des v. Uchatius'schen Receptors (vgl. S. 57—58) bestimmt; doch ist die Verschiebung des Leistungsverhältnisses zu Gunsten der Schiessbaumwolle bei abnehmender Lauflänge unverkennbar.

Länge der Rohrseele		Von der Kugel durchlaufene Länge der Rohrseele	Anfangsgeschwindigkeit der Kugel bei		Lebendige Kraft der Kugel bei		Mittlerer Gasdruck bei	
			8 g Pulver	2,86 g Schiesswolle	8 g Pulver	2,86 g Schiesswolle	8 g Pulver	2,86 g Schiesswolle
Kaliber	Meter				Kilogramm-Meter		Kilogramm	
64	1,083	1,035	376,72	376,59	416,4	416,4	201,2	201,2
49	0,833	0,785	376,18	387,33	415,2	440,5	264,5	280,6
38	0,646	0,598	349,53	379,62	359,0	424,1	300,2	353,8
29	0,493	0,445	316,87	358,52	294,6	377,4	331,2	424,7
22	0,374	0,326	286,07	360,38	240,2	381,3	368,3	584,3
16	0,272	0,224	261,20	326,51	200,2	313,0	446,8	698,7
11	0,187	0,139	220,96	294,38	144,1	254,4	515,3	915,2
7	0,119	0,071	161,65	250,54	76,7	184,3	539,9	1297,9
5	0,085	0,037	115,27	175,94	39,0	90,8	526,9	1228,3
4	0,068	0,020	89,33	119,23	23,4	41,7	585,3	1042,5

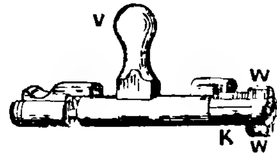
Unmittelbare Folgen der grösseren Verbrennungsgeschwindigkeit der Schiessbaumwolle sind auch die bei ihrer Anwendung anstatt des alten Pulvers bemerkbare Verminderung des Rückstosses der Feuerwaffen und die auf geringere Entfernungen beschränkte Vernehmbarkeit des bei ihrer Explosion entstehenden Knalles.

Die vollkommenere Ausnutzung der den Explosionsgasen innewohnenden Energie für die Bewegung des Geschosses im Lauf, welcher die Nitrocellulose den grössten Teil ihrer ballistischen Überlegenheit über das alte Pulver verdankt, hat zur selbstverständlichen Folge, dass die so ausgenutzten Gase bei ihrem Ausströmen aus der Laufmündung keine erhebliche Spannung mehr besitzen und keine erhebliche Reaktion mehr bewirken können. Hauptsächlich trägt aber zur Herabsetzung des Gesamtrückstosswertes bei der Schiessbaumwolle die Verringerung des anderen Faktors bei, den wir schon an einer früheren Stelle (S. 36—38) als zur

[1]) Der ausführliche amtliche Bericht über die Arbeiten dieser Kommission, deren Vorsitzender der Herzog von Montpensier war und der Männer wie Piobert, Pelouze, Morin, Séguier angehörten, ist leider während der Ereignisse des Jahres 1848 verloren gegangen, und es sind nur Teile vorhanden, die in Zeitschriften und spätere Publikationen der Nächstbeteiligten übergegangen sind. Eine bedeutende Anzahl solcher Nachrichten hat Rutzky in seiner „Theorie der Schiesspräparate" (Wien 1870) gesammelt.

Bildung des Gesamtwertes in erster Linie beitragend kennen gelernt haben: des während des Aufenthalts des Geschosses im Lauf stattfindenden Rückstosses. Dass während des Aufenthalts des Geschosses im Lauf auf den Boden einer abgefeuerten Schusswaffe stets dieselben Drücke einwirken, wie auf den Geschossboden, dass sie aber trotzdem nicht immer bei gleichen Geschossgeschwindigkeiten gleiche Rückstosswerte zu erzeugen brauchen, wurde gleichfalls an jener Stelle schon auseinandergesetzt. Die vom Bodendruck beeinflussten Teile eines Gewehres oder Geschützes bilden nicht eine starre Masse, in der sich entweder alle Teilchen zugleich oder kein Teil bewegen müsste; sie sind vielmehr trotz noch so sorgfältiger Anpassung an einander doch immer gegen einander beweglich und auch jeder für sich vorübergehenden (elastischen) und dauernden Formveränderungen unterworfen.[1] Sie brauchen also, um an einer Stelle (dem Ladungsraumboden) begonnene Bewegungen fortzupflanzen, Zeit; und diese Zeit lässt ihnen ein so schneller Vorgang, wie die Verbrennung einer Schiesswollladung, nur unvollkommen.

Abb. 20.





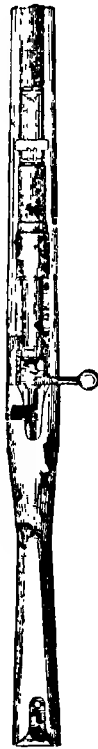


Abb. 19. Abb. 21.
Für rauchschwaches Pulver eingerichtete Gewehrverschlüsse.

Natürlich müssen aber die rückwirkenden Kräfte, die wir beim Rückstoss vermissen, irgend wohin geraten sein: zum teil haben sie im Material der Waffe nur Veränderungen hervorgebracht, die dann durch die Elastizität wieder ausgeglichen wurden, zum teil finden wir sie aber auch in sehr unwillkommenen dauernden Formveränderungen des Waffenmaterials — bei Hinterladern besonders in Verbiegungen und Stauchungen oder Streckungen der Verschlussteile — wieder. Man kann die Art, wie eine langsame und eine schnelle Explosion auf nahe und auf entferntere Objekte wirkt, durch einen leichten Versuch veranschaulichen. In einer aus drei langen Brettern gebildeten, engen Rinne stellt man eine Reihe von

[1]) Besonders deutlich trat diese Thatsache bei den zahlreichen Gewehren hervor, die einen Verschluss nach dem zuerst von Dreyse für sein berühmtes Zündnadelgewehr angewandten — und für die geringen Gasdrücke dieses Gewehres auch angebrachten — Prinzip hatten, d. h. bei denen sich bei einer Rechtsdrehung des vorgeführten Verschlusscylinders der Griffteil (V in Abb. 19 und 20) vor einen hinter der ausgeschnittenen Patroneneinlage

Glasflaschen auf. Schiebt man nun die vorderste Flasche langsam fort, so wird es leicht gelingen, die ganze Reihe in Bewegung zu setzen; sucht man aber denselben Zweck durch einen heftigen Stoss zu erreichen, so zertrümmert man nur die vordersten Flaschen, ohne dass sich die übrigen erheblich bewegen. Will man die Kraft des heftigen Stosses nicht durch eine Zertrümmerung, sondern nur durch eine Stauchung aufzehren lassen, so stellt man den Versuch anstatt mit Flaschen, mit feuchten Thonkugeln an. Die Rolle der dann am stärksten gestauchten vordersten Thonkugel spielt in den modernen, rauchschwaches Nitrocellulosepulver verfeuernden Gewehren zumeist der Verschlusskopf mit den beiden Verschlusswarzen (WW in Abb. 20), an denen die Stauchungen manchmal schon nach einer kurzen Reihe von Schüssen messbar sind.[1])

In der Nähe heftig, in der Ferne wenig oder gar nicht bewegend ist die Wirkung geschwinder Explosionen auch dann, wenn sie nach allen Seiten zugleich und in einem luftförmigen Medium stattfindet, und das ist

---

stehen gebliebenen Lappen der Verschlusshülse (L in Abb. 19) legte und so eine asymmetrische (nur rechtsseitige) Unterstützung fand. Die Asymmetrie dieser Verschliessart bewirkte Seitenschwingungen des Materials der Waffe und infolge dieser Seitenabweichungen der Geschosse, die sofort in die entgegengesetzten umschlugen, wenn man bei Schiessversuchen ein zweites Lager für den Griffteil links in die Verschlusshülse schnitt und den Verschlusscylinder nun nach links umlegte (vgl. hierüber besonders: E. Thiel, Das Infanterie-Gewehr, Bonn 1883). Mit der Zeit zeigten diese Gewehre auch dauernde Verbiegungen der Verschlusshülse nach links und unten. Um diese durch die Asymmetrie der Verschlüsse hervorgerufenen Übelstände, die bei Anwendung der modernen, brisanteren Schiesspräparate natürlich noch unleidlicher hervorgetreten sind, zu beseitigen, pflegt man bei den neuen für rauchschwache Pulver bestimmten Gewehrverschlüssen nach Muster des französischen Lebelgewehres M. 1886 (Abb. 19) am Kopf des Verschlusscylinders (K in Abb. 20) zwei gegenüberstehende Verschlusswarzen (WW) anzubringen, die sich bei der Rechtsdrehung in entsprechende Lager vorn in der Verschlusshülse eindrehen und so einen symmetrischen Abschluss des Laufes bewirken. Da somit der Griffteil nur noch als solcher, d. h. zum Erfassen des Verschlusscylinders dient, verlegt man ihn auch vielfach (wie beim belgischen Infanteriegewehr M. 1889, Abb. 21) ganz nach hinten, wo die ihn verlassende Hand des Schützen den Abzug schneller findet.

[1]) Martin de Brettes (Ber. d. Par. Akad. Bd. LVIII, S. 664 ff.) schrieb die Thatsache, dass Schiesswollladungen bei gleicher Geschossgeschwindigkeit stets nur einen etwa um ein Drittel geringeren Rückstoss geben, als Ladungen von Schwarzpulver, dem Umstande zu, dass von den letzteren stets etwa zwei Drittel bei der Explosion unvergast blieben und bei ihrer Hinaustreibung aus dem Rohr gewissermassen das Gewicht des Geschosses erhöhten. Diese Erhöhung könnte aber nur bei ganz ausserordentlich leichten Geschossen so stark auf den Rückstoss einwirken, und ausserdem ist es durchaus nicht sicher, ob die bei gewöhnlicher Temperatur festen Explosionsprodukte des Schwarzpulvers auch schon während der Explosion fest sind (vgl. S. 19), und ganz sicher, dass wenn man der Schiesswolle Zusätze giebt, die denselben festen Rückstand erzeugen, wie er beim Schwarzpulver zu finden ist, oder das Geschossgewicht bei Schiesswollladung stets um zwei Drittel des Gewichts einer gleichwertigen Pulverladung erhöht, doch kein Ausgleich der Rückstösse eintritt.

der einfache Grund, warum der Knall der Schiessbaumwolle weniger weit zu hören ist, als derjenige des alten Pulvers, und die mündliche Verständigung in einiger Entfernung vom Schussorte befindlicher Personen weit weniger hindert. Auch hier erkaufen wir aber die Geringfügigkeit der Fernwirkungen durch heftige Erschütterungen in der Nähe: auf kurze Entfernungen erschüttert der Knall der Nitrocellulose unsere Gehörorgane viel unangenehmer und schädlicher, als der Knall des Schwarzpulvers, und ruft z. B. bei in unmittelbarer Nähe feuernder Geschütze befindlichen Kanonieren weit eher eine temporäre Schwerhörigkeit hervor, durch die ein ausser der geringeren Fernwirkung am Schall der Nitrocellulose-Explosion noch bemerkbarer, gleichfalls auf der grösseren Explosionsgeschwindigkeit beruhender Vorzug leicht hinfällig wird. Ausser durch eine grössere oder geringere Lautheit kann sich ein Knall von einem anderen natürlich auch noch durch die tiefere oder höhere Tonempfindung unterscheiden, die er in uns erweckt. Die Lautheit ist von der Kraft, die Tiefe oder Höhe der Tonempfindung dagegen von der Länge der in unser Ohr dringenden Luftwellen abhängig; ein noch so ferner und schwer hörbarer Kanonenschuss klingt immer dumpf, tief, und wird nie mit dem hellen, hohen Knall einer in der Nähe abgefeuerten Pistole verwechselt werden. Lange Schallwellen erzeugen tiefe, kurze Schallwellen hohe Tonempfindungen (gleichgültig, ob es sich um einen eigentlichen, durch ein musikalisches Ohr in seiner Tonhöhe genau bestimmbaren Ton, oder nur um ein Geräusch oder sogar einen einwelligen Knall handelt; vgl. S. Exner in Pflüger's Archiv für Physiologie, Bd. XIII, S. 228 ff.; E. Brücke in den Ber. der Wiener Akad., Bd. XC, Abt. III, Oktober-Heft); lange werden aber von langen, kurze von kurzen Explosionen erzeugt. Daher auch die eigentümliche Höhe, Helligkeit des Nitrocellulose-Knalles, der namentlich einer tiefen Kommandostimme das Durchdringen im Feuer erleichtert: ein Vorteil, der freilich, wie bereits erwähnt, durch Abnahme des Hörvermögens bei den Feuernden leicht verloren geht.

Immerhin verdienen auch die Eigentümlichkeiten des Knalles der Nitrocellulose, als Ganzes betrachtet, schon in der nach den ersten Versuchen von den Schiesstechnikern aufgestellten Bilanz der Vorzüge und Nachteile des Schönbein'schen Treibmittels auf der Aktivseite zu stehen, welche Seite auch ohne diesen Zuwachs eine stattliche Wertsumme von Vorteilen aufweist. Leider erscheint aber auch die Passivseite schwer belastet: namentlich mit zwei Posten, von denen der erste erst nach zwei, der zweite erst nach vier Jahrzehnten zu tilgen war. Es sind dies: die Neigung unreiner Nitrocellulose zu explosiver Selbstzersetzung und die zerstörende Wirkung des neuen Schiesspräparates auf die es verfeuernden Waffen.

Den Abschluss der ersten Versuchsserien mit der Schiessbaumwolle bildeten in den meisten Staaten Explosionskatastrophen, welche dem schon durch andere Ursachen erschütterten Vertrauen zu dem neuen Treibmittel den entscheidenden Stoss versetzten: nicht nur ereigneten sich besonders in denjenigen Stadien der Fabrikation, in welchen bereits entstandene Schiessbaumwolle mit Säure in Berührung war, verheerende und zahlreiche Menschenopfer fordernde Explosionen, sondern auch die Lagerung des völlig fertiggestellten Produktes, welche beim Schwarzpulver durch beliebige Zeit fortgesetzt so gut wie keine Gefahren brachte, erwies sich hier als äusserst gefährlich. Schon im Jahre 1847 flog die englische Schiesswollfabrik in Faversham in die Luft; im Jahre 1848 folgten die französischen Magazine zu Vincennes und Le Bouchet und eine ganze Anzahl kleinerer Fabriken und Magazine. Österreich allein setzte die Fabrikation von Schiesswolle als Treibmittel für Feuerwaffen ein Jahrzehnt länger, als alle übrigen Staaten, bis zum Jahre 1862 ohne jeden Unfall fort; es verdankte dies einer Fabrikationsmethode, die sich schliesslich als noch erheblicher Fortbildung bedürftig erwies, die aber in ihren Grundzügen noch heute für die Schiesswollfabrikation massgebend ist.

Mitglied der auf Antrag Schönbein's im Jahre 1846 vom Deutschen Bundestage eingesetzten Kommission zur Prüfung der Schiessbaumwolle war auch der k. k. Hauptmann, spätere Feldmarschall-Lieutenant Wilhelm Freiherr Lenk von Wolfsberg, welcher, als nach mehreren Jahren der Bundestag in Sachen der Schiessbaumwolle noch zu keinem Entschluss gekommen war, im Auftrage seiner Regierung die in Mainz begonnenen Versuche in Wien fortsetzte, und schliesslich zu einem Herstellungsverfahren kam, das, so lange man in Österreich auf die Verwendung der v. Lenk'schen Schiesswolle als Treibmittel noch nicht endgültig verzichtet hatte, natürlich offiziell geheimgehalten wurde. Dann durfte aber v. Lenk dem Kaiser Napoleon III. auf dessen Verlangen persönlich Proben seines Schiesspräparates überreichen und Mitteilungen machen, auf Grund deren man dann in Frankreich wieder eine kurze Zeit lang Versuche mit Schiessbaumwolle anstellte (Pelouze und Maurey berichteten darüber an die Akademie, Ber. Bd. LIX, S. 363 ff.), auch in England Auskünfte geben, die hauptsächlich Abel als wertvoll anerkannte (Chemical News, Bd. VIII, S. 141) und in weiterer Folge sehr fruchtbar machte, und in den Vereinigten Staaten von Nord-Amerika ein Patent nehmen (Scientific American vom 9. Juli 1864). Auch die schon mehrfach zitierte „Theorie der Schiesspräparate" des k. k. Hauptmanns A. Rutzky, der v. Lenk's Bestrebungen nahe stand, giebt über die Einzelnheiten der v. Lenk'schen Fabrikationsmethode zuverlässige Aufschlüsse.

Die v. Lenk'sche Fabrikationsmethode ging zunächst von der treffenden

Ansicht aus, dass die im Handel vorkommende Baumwolle mehr oder weniger mit Fremdstoffen verunreinigt ist und deshalb von allen Unreinigkeiten, namentlich von allen Fettstoffen (welche auch bei der Nitroglycerinfabrikation als unheilvoll erkannt sind) sorgfältig befreit werden muss, wenn man sie in Schiesswolle umwandeln will, weil es namentlich die Fettstoffe sind, welche die Umwandlungs-Manipulationen sehr gefährlich machen und auf die Güte des Produktes und die Konservation desselben einen sehr nachteiligen Einfluss nehmen.

Die gesponnenen Baumwollsträhne (Vorgespunst, sehr wenig gedreht, zu $^1/_6$ Pfund) wurden aus den soeben genannten Gründen in einer sehr heissen Pottaschenlösung entfettet. Hierzu diente ein eiserner, von unten geheizter Kessel mit Wasser, in welchen man die Pottasche in solcher Menge eintrug, dass die Lösung eine Dichte von 3 Grad nach dem Baume'schen Aräometer zeigte. Diese Lösung wurde durch das Sieden in langsamer Wallung erhalten, und die Baumwollsträhne an Häkchen je nach dem Fettegrade 2 bis 3 Minuten in dieselbe eingehängt. Nach dem Verseifen der Fettstoffe wurden die Baumwollsträhne in einer Centrifugal-Trocknungsmaschine („Hydroextrakteur") von der überflüssigen Lösung befreit (ausgeschleudert), sodann in zinkblechernen Waschkörben durch Hin- und Herschwenken im Wasser von der Seifenlauge gereinigt, wieder im „Extrakteur" behandelt und schliesslich durch künstliche Wärme scharf getrocknet.

Die entfetteten und getrockneten Baumwollsträhne wurden in einem Gemisch von Salpetersäure und Schwefelsäure der Nitration unterworfen. Die Salpetersäure sollte bei 14° R. mindestens 1,48 bis 1,49 Dichte und die Schwefelsäure bei derselben Temperatur eine Dichte von 1,835 haben. Das Säuregemisch wurde in einem eigenen Gefässe auf die Weise bereitet, dass aus zwei Ablasshähnen die Säuren in einem dünnen Strahle in der richtigen Menge zusammenflossen und hierbei gleichzeitig zusammengerührt wurden. Das Verhältnis der beiden Säuren zu einander hing von der Qualität derselben und der zu nitrierenden Baumwolle ab und war gewöhnlich 1 : 3, das heisst man nahm auf 1 Gewichtsteil Salpetersäure 3 Gewichtsteile Schwefelsäure. Die bereitete Mischung wurde einige Zeit vor ihrer Verwendung in Steingutkrügen aufbewahrt, damit sie sich abkühlte.

Das Nitrieren der Baumwollsträhne erfolgte in einem gusseisernen, wannenartigen Tauchapparat mit drei Abteilungen und einem Roste über der mittleren Abteilung. Nachdem man die erste und die mittlere Abteilung bis zum Roste, das ist bis auf Zweidrittel ihrer Höhe mit dem vorher bereiteten Säuregemisch gefüllt hatte, wurden zwei Baumwollsträhne mittelst eines Hakens in das Säuregemisch der mittleren Abteilung eingetragen und damit so lange umgedreht und mit Spateln gedrückt, bis

die Säure sichtlich die Wollsträhne ganz durchdrungen hatte, und letztere sich durch und durch vollgesogen hatten, wobei sie ein durchaus fettähnliches Aussehen zeigen sollten. Hierauf wurden die Strähne auf den Rost gebracht und daselbst durch Drücken von dem überschüssigen Säuregemisch befreit. Es sollte 1 Lot Baumwolle mindestens $9^1/_2$ Lot Säuregemisch aufgenommen haben, mithin sollten die 2 Strähne, welche $^1/_8$ Pfund vor dem Tauchen wogen, nach dieser Manipulation $3^5/_6$ Pfund Gewicht zeigen.

Da durch das Eintauchen der Baumwolle das Säurengemisch in seiner Zusammensetzung geändert, namentlich aber wasserhältiger wurde, so konnte dasselbe auf eine zweite Portion Wolle nicht mehr mit derselben Intensität umwandelnd einwirken, wie auf die erste Portion; da aber die gleiche Nitration aller Wollportionen eine Hauptaufgabe war, so wurde das Säuregemisch nach jeder Tauchung mit $3^1/_2$ Pfund frischem Gemisch aus der ersten Abteilung aufgefrischt, und wenn es zu wässerig geworden, durch ganz frisches Gemisch ersetzt.

Zur vollständigen (Nach-)Nitration wurden nach und nach 6 Strähne, die auf die angeführte Weise behandelt worden, in einen Topf von Steingut gegeben, welcher der Bequemlichkeit wegen bis zur Füllung in der dritten Abteilung des Tauchapparates stand. Der die 6 Strähne enthaltende Topf wurde hierauf gewogen, wobei die 6 Strähne, welche gerade 1 Pfund hatten, im präparierten Zustande mindestens $10^1/_2$ Pfund Gewicht haben mussten; sodann wurde in den Topf eine Tuchscheibe gedrückt und derart gelagert, dass die Wolle mit Säure überdeckt war; schliesslich wurde der Topf mit einem Deckel versehen und in das Nitrationslokal gebracht und daselbst zur vollständigen Nitration der Wolle 24 bis 48 Stunden belassen. Die Temperatur des Lokales sollte weder zu hoch noch zu niedrig sein. Die Säure im Topf sollte nie unter $+4^0$ R. sinken, weil sonst die Nitration sehr langsam vor sich geht und nicht über 20^0 R. steigen, weil dies der Wolle nachteilig wäre. Es musste deshalb im Winter das Lokal geheizt und im Sommer die Töpfe mit den Strähnen in kaltes Wasser gestellt oder von diesem umspielt werden. Der Anfang des Nitrationsprozesses musste durch 2 bis 6 Stunden überwacht werden. Wurden die Töpfe hierbei warm, so war die darin enthaltene Wolle zu lüften, oder Säure nachzugiessen, oder es mussten die Töpfe in kaltes Wasser zur schnelleren Abkühlung gestellt werden o. ä. Bei den genannten Manipulationen musste das Verunreinigen der Wolle durch Staub oder Schmutz sorgfältig hintangehalten werden.

Nach Beendigung des Nitrationsprozesses gelangte die entstandene Schiesswolle in den Hydroextrakteur, wobei jede Verschmutzung derselben mit Oel oder anderen Körpern sorgfältig vermieden werden musste. Die teilweise von der Säure durch Extraktion befreite Schiesswolle wurde in

kupfernen Waschtrommeln gewaschen und hierbei das Wasser schnell gewechselt, damit keine Temperaturerhöhung in der Wolle eintrete. Die Wolle wurde strähnweise unter den herabfallenden Wasserstrahl gebracht und dann in Wollwaschkästen zum Auswässern gegeben, in welchen sie durch 6 Wochen der Einwirkung des fliessenden Wassers ausgesetzt blieb. Nach dieser Zeit wurde die Schiesswolle nochmals gewaschen, dann im Extrakteur behandelt und endlich in eine siedende Pottaschenlösung von 3 Grad Baumé bis zum zweiten Aufsieden gegeben.

Nach dieser Behandlung wurde die Wolle extrahiert, um die Lauge aus ihr möglichst zu entfernen, dann gewaschen und abermals extrahiert, um sie von dem Wasser möglichst zu befreien, und endlich getrocknet.

Die getrocknete Schiesswolle wurde zum Schlusse mit einer Wasserglaslösung behandelt. Man wählte hierzu Natronwasserglasgallerte (kieselsaures Natron) von 36 Grad Baumé, und verdünnte dieselbe mittelst Wassers bis auf 12 Grad Baumé bei 20° R. Die Schiesswolle wurde in diese Lösung nach und nach eingelegt und gedrückt, bis eine entsprechende Aufsaugung stattgefunden hatte. Nach dieser Manipulation wurde die überflüssige Lösung durch Extraktion entfernt und die mit Wasserglas imprägnierte Wolle während dreier Tage der atmosphärischen Luft ausgesetzt, damit die in der atmosphärischen Luft stets enthaltene Kohlensäure das Wasserglas in Kieselsäure und kohlensaures Natron überführte.

Nach dieser Behandlung mit Wasserglas wurde die Schiesswolle abermals im fliessenden Wasser ausgewaschen, dann extrahiert und zum Schlusse entweder in einem Trockenhause bei einer Temperatur von höchstens 28° R. oder auch im Freien getrocknet, wobei jedoch das direkte Sonnenlicht ausgeschlossen blieb.

Die auf diese Weise erzeugte Schiesswolle wurde einer Untersuchung unterzogen und jene Strähne als schlecht ausgeschieden, deren Fäden zerrissen waren. Auf der in Österreich üblich gewesenen Stangen-Pulverprobe sollten 6 Gran normale Schiesswolle 42 Grad schlagen.[1]) Eine

---

[1]) Die Stangenproben unserschieden sich von den im Früheren (S. 6 und 64) beschriebenen Federproben dadurch, dass hier der Deckel des senkrecht aufgestellten und abgefeuerten kleinen Mörsers nicht eine Federkraft, sondern die Schwerkraft zu überwinden hatte. Der Deckel trug oben eine senkrechte Zahnstange, die sich in einem Gestell nach oben frei bewegen konnte, aber von einer federnden Klinke festgehalten wurde, sobald sie ihre höchste Lage erreicht hatte und zu fallen anfing. Die Anzahl der Zähne („Grade"), um welche der Deckel mit der Zahnstange durch die Explosion hochgetrieben wurde, diente dann zu Vergleichen, die, da auch in diesen Proben die Explosionsgase nur auf einer sehr kurzen Strecke auf das Geschoss (den Mörserdeckel) einwirken konnten, bei der Vergleichung von Explosivstoffen von erheblich verschiedener Verbrennungsgeschwindigkeit immer sehr zu Gunsten der schnellverbrennlichen ausfallen mussten, bei Stoffen von annähernd gleicher Geschwindigkeit der Verbrennung aber von Wert sein konnten.

kräftiger wirkende Schiesswolle konnte keine Bedenken erregen, allein eine minder kräftig wirkende musste bei weniger als 30 Grad noch weiter getrocknet oder auch einer wiederholten Bearbeitung unterzogen werden, und durfte nur zu Sprengladungen Verwendung finden, für die es auf Gleichmässigkeit der Wirkung nicht so dringend ankam.

Die Schiesswolle war nach der Imprägnierung mit Wasserglas nur schwer von dem kohlensauren Natron zu befreien, welches Wasser anzieht und ihre Wirkung beeinträchtigt. Diese Verunreinigung zeigte sich durch das Verstauben und konnte durch das nachträgliche Auswaschen der Schiesswolle entfernt werden.

Die erzeugten Schiesswollsträhne wurden vor ihrer weiteren Verarbeitung zu Patronen-Ladungen in Kisten verpackt, die mit Papier ausgefüttert waren. Das Verpacken geschah strähnweise mit Zwischenlagen von Packpapier.

Die Imprägnierung der Schiesswolle mit Wasserglas, welches nachher zu kohlensaurem Natron und Kieselsäure zersetzt wurde, hatte den Zweck, durch das in statu nascendi befindliche Alkali etwaige Säurenreste recht wirksam zu binden, und daneben den zweiten, durch Einbringung der unverbrennlichen Kieselsäure in die Poren der Schiessbaumwolle diese dichter und weniger schnell verbrennlich zu machen; sie erwies sich später als ohne Nutzen; die sonstigen Besonderheiten der v. Lenk'schen Fabrikationsmethode, insbesondere die sorgfältige Reinigung der Baumwolle vor und nach der Nitration, entsprachen aber in ihren Ergebnissen so sehr den gleichfalls günstigen Resultaten von noch im Späteren zu erwähnenden Schiessversuchen, dass sich im Jahre 1853 die österreichische Regierung entschloss, die Belohnung von 30000 Gulden, welche der Deutsche Bundestag Schönbein und Böttger für den Fall versprochen, dass sich der neue Explosivstoff als vorteilhafter Ersatz für das alte Schiesspulver erweisen würde, ihrerseits auszuzahlen, und die Fabrikation von Schiessbaumwolle nach der Methode und unter Leitung v. Lenk's in Hirtenberg bei Wiener-Neustadt in grossem Massstabe zu beginnen.

Im Laufe des folgenden Jahrzehnts schwankten auch in Österreich die Ansichten über den Wert der Schiessbaumwolle als Treibmittel in Feuerwaffen mehrfach; der Glaube an die Stabilität der v. Lenk'schen Nitrocellulose aber blieb ziemlich unerschüttert, bis im Juni 1862 eine Explosion, die man nur auf Selbstentzündung des gelagerten Materials zurückführen konnte, das Schiesswolldepot auf der Simmeringer Haide bei Wien zerstörte. Diese Katastrophe bildete den Anstoss zu einem endgültigen Verzicht auf die Einführung der Schiessbaumwolle als Treibmittel, und drei Jahre später bewirkte das Auffliegen eines zweiten

Magazins auf der Steinfelder Haide bei Wiener-Neustadt die völlige Einstellung der Schiesswoll-Fabrikation in Österreich (am 11. Oktober 1865).

Diese mit einer für durchaus rein gehaltenen Schiesswollart gemachten traurigen Erfahrungen hatten zur Folge, dass man jetzt auch in Österreich vielfach selbst absolut reiner Schiesswolle die Haltbarkeit absprach und sie für einen seinem Wesen nach unstabilen Körper erklärte. Diese pessimistische Meinung wurde durch die günstigen Resultate, die man in der nächsten Entwickelungsperiode der Schiessbaumwolle mit noch reineren Präparaten erzielte, widerlegt; namentlich sind Stabilitätsversuche, welche die k. k. Hauptleute Hess und Dolliak in den Jahren 1879 und 1882 nach einer vom Erstgenannten erfundenen Methode mit sonst möglichst gleichen, aber nach der Herstellung verschieden gut ausgewaschenen Nitrocellulosen und solchen, die je nach der grösseren oder geringeren Reinheit der verarbeiteten Cellulose grössere oder geringere Mengen mitnitrierter Fremdstoffe enthalten mussten, anstellten,[1]) geeignet, den grossen Einfluss zurückgebliebener Säurereste und mitnitrierter Fremdstoffe auf die Zersetzlichkeit der Nitrocellulose deutlich zu machen.

Die praktisch am unmittelbarsten wertvollen Aufschlüsse über die relative Stabilität zweier verglichener Explosivstoff-Proben würde man natürlich erhalten, wenn man sie einfach unter denselben Umständen, welche bei der Lagerung grosser Mengen solcher Stoffe für den praktischen Gebrauch erstrebt worden, also von jedem äusseren Einfluss möglichst frei aufbewahrte und die eventuellen Zersetzungsvorgänge von Zeit zu Zeit beobachtete. Leider ist das Verfahren zu langwierig, und wir müssen dazu greifen, die eventuelle Zersetzung beschleunigende Einflüsse auf die Proben gleichmässig anzuwenden. Als milde beschleunigendes Mittel stände uns da das Licht zu Gebote: namentlich zur Zersetzung geneigte Nitro-Explosivstoffe zersetzen sich unter dem Einfluss des Lichtes schneller, als im Dunklen. So war z. B. nach Kutzky (a. a. O.) im Jahre 1865 im Laboratorium des k. k. Artillerie-Comité's in Gläsern in zerstreutem Tageslicht aufbewahrte Hirtenberger Schiesswolle von verschiedenen Erzeugungsperioden in allen Stadien der Zersetzung zu sehen. Die Schiesswolle, welche bereits im Dezember 1855 erzeugt wurde, war gelblich, vermodertem Holze ähnlich, mit einem Geruch nach Untersalpetersäure. In einem anderen Glase war solche Schiesswolle bereits in den harzigen Zustand übergegangen. Die äusserst zähe, harzige Masse dieser gewesenen Schiesswolle konnte in Fäden gezogen werden. In einem dritten Glase war die Schiesswolle noch weisslich, die Faser derselben zeigte jedoch

[1]) Beschr. in den „Mitth. üb. Gegenst. des Artill.- u. Geniewesens, herausg. vom k. k. techn. u. administr. Militär-Comité", 1879 Heft 6 und 1882 Heft 12; daraus auch Abb. 22 und 23.

keine Festigkeit, die Wolle roch nach Untersalpetersäure und hatte bereits die der Schiesswolle eigentümliche Entzündlichkeit verloren. Eine andere Schiesswollgattung, welche für Sprengladungen bestimmt und im Jahre 1855 erzeugt war, zeigte sich im Glase als schmutzig weisse, teigige Masse. Eine Schiesswollsorte von angeblich vorzüglicher Qualität, die im Jahre 1864 erzeugt wurde, zeigte die bereits eingetretene Zersetzung durch den schon erwähnten Geruch. Bei der in Holzkisten gelagerten Hirtenberger Schiessbaumwolle ist eine so schnelle Zersetzung nie festgestellt worden, trotzdem bei grösseren Mengen Schiessbaumwolle die Zersetzung wegen des erschwerten Abflusses der entwickelten Wärme stets ein schnelleres, leicht bis zur Explosion beschleunigtes Tempo einzuschlagen pflegt.[1]) S. de Luca (Ber. d. Par. Akad., Bd. LIX, S. 487 ff.) teilte eine Probe französischer Schiessbaumwolle, die eine im Dunkeln bereits beginnende Zersetzung durch Säuregeruch verriet, in vier Teile ein: der eine blieb im Dunklen, der zweite wurde dem zerstreuten Licht des Laboratoriums, der dritte der unmittelbaren Einwirkung der Sonnenstrahlen ausgesetzt, und der vierte im Wasserbade auf etwa 50° C. erhitzt. Diesem letzten Teil kam in der Geschwindigkeit der nun weitergehenden Zersetzung der im direkten Sonnenlicht stehenden am nächsten, dann folgte der vom zerstreuten Licht beeinflusste, und der im Dunklen gebliebene Teil zersetzte sich weitaus am langsamsten. Stets wurden 4 deutlich unterscheidbare Stadien

[1]) Es sammelt sich hierbei nicht nur die durch chemische Zersetzung entstehende Wärme an. Jeder feste oder flüssige Körper zieht an seiner Oberfläche die atmosphärischen Gase und Dämpfe (Sauerstoff, Stickstoff, Wasserdampf, Kohlensäure u. s. w.) an und verdichtet sie, wobei natürlich Wärme entsteht. Ist die Oberfläche des Körpers relativ sehr gross, d. h. der Körper sehr porös oder fein zerteilt, so kann bei genügender Empfindlichkeit des Körpers und hinreichend verhindertem Wärmeabfluss die so entstehende Wärme auch bei durchaus unexplosiven Körpern, so auch namentlich bei unveränderter Baumwolle, Selbstentzündungen veranlassen. In neuerer Zeit hat man sich namentlich mit den durch Selbstentzündung verursachten Schiffsbränden und den Mitteln zu ihrer Verhinderung beschäftigt (vgl. L. Häpke, Die Selbstentzündung von Schiffsladungen, Baumwolle und anderen Faserstoffen, Steinkohlen u. s. w., Bremen 1893). Diese Art der Erhitzung kommt natürlich auch bei der in ihrer ursprünglichen Struktur nicht veränderten, nur nitrierten Baumwolle in Betracht; und als drittes Moment tritt hier gegebenenfalls noch diejenige Warme hinzu, welche sich entwickelt, indem sich etwaige Säurereste oder sauren Zersetzungsprodukte (diese sind nach allen Untersuchern sehr hygroskopisch; vgl. z. B. de Luca in den Ber. d. Par. Akad., Bd. LIII, S. 300: Bonet ebend., S. 406) mit aus der Atmosphäre angezogener Feuchtigkeit verdünnen. Daher fand de Luca auch stets, dass die Zersetzungsgeschwindigkeit zersetzlicher Schiessbaumwolle mit dem Feuchtigkeitsgehalt der Luft stieg, und dass sich in luftleer gepumpten und zugeschmolzenen Glasgefassen vom Jahre 1861 an aufbewahrte Schiessbaumwolle im Jahre 1864 noch völlig unverändert zeigte, während sich Proben desselben Präparats, die er gleichzeitig und unter sonst gleichen Umständnn in nur mit eingeschliffenen Glasstöpseln, Korken oder übergebundenem Papier verschlossenen Gläsern aufbewahrt, schon im Laufe des Jahres 1862 völlig zersetzt hatten (ebend., Bd. LIX, S. 487 ff.).

durchlaufen: 1. zunächst schrumpfte die Schiessbaumwolle langsam, ohne ihre organische Struktur zu verlieren, so stark zusammen, dass sie zuletzt nur etwa ein Zehntel ihres ursprünglichen Volumens einnahm; 2. einige Tage später begann sie zu erweichen, indem sie sich in eine gummiartige, stark an den Fingern klebende und an die Struktur der Baumwollfasern in keiner Weise mehr erinnernde Masse verwandelte; die mikroskopische Untersuchung liess keine Spur von Organisation wahrnehmen, und nachdem die Masse ganz homogen geworden, war ihr Volumen noch um die Hälfte kleiner, als am Ende des ersten Stadiums; 3. das dritte Stadium begann nach einem längeren Zwischenraum, als zwischen dem ersten und dem zweiten zu vergehen pflegte, im Gegensatz zu den beiden ersten Stadien nicht mit Schrumpfungs-, sondern mit Ausdehnungs-Erscheinungen, indem die am Schlusse des zweiten Studiums auf den zwanzigsten Teil ihres ursprünglichen Umfanges reduzierte Schiesswolle sich jetzt so aufblähte und anschwoll, dass sie den Raum des Gefässes, welches sie vor dem Beginn ihrer Zersetzung angefüllt, wieder ganz einnahm, also zwanzig mal so voluminös geworden war, als am Ende ihrer Kontraktion; in diesem Zustande zeigte die Masse das vorige gummiartige Aussehen noch, war aber porös und voller Höhlungen, wie ein Schwamm; 4. während dieser drei Stadien entwickelten sich saure Dämpfe (Stickstoffverbindungen mit Spuren von Ameisen- und Essigsäure), welche im dritten reichlicher wurden; doch nahm diese Gasentwickelung allmählich in merkbarem Grade ab, die Substanz verlor, obgleich sehr langsam, ihr gummiartiges Aussehen und ihre gelbliche Farbe und wurde so zerreiblich, dass man sie zwischen den Fingern zu einem feinen Mehl zerreiben konnte, und weiss wie Zucker. Dieses Endprodukt der Schiesswollzersetzung bestand grösstenteils aus Glykose (bis 14 $^0/_0$ der zersetzten Schiesswolle), gummiartigen Substanzen, Oxalsäure, einer geringen Menge von Ameisensäure und wahrscheinlich noch unbekannten organischen Säuren. Die so entstandene Glykose hatte nach de Luca den Geschmack und selbst das Aroma des Honigs. Die gesammten vier Zersetzungsstadien wurden in sehr verschiedenen Zeiten durchlaufen; so oft aber nur Licht das die Zersetzung beschleunigende Agens war, nie schneller als in fünf Monaten. Solche Beobachtungen erfordern also Monate und Jahre, und man wendet bei Stabilitätsversuchen mit Explosivstoffen fast ausschliesslich das energischste Mittel zur Hervorrufung chemischer Aktionen an: die Wärme, und zwar meistens eine Erwärmung auf 70^0 C., also eine Temperatur, wie sie in der Praxis unter besonders ungünstigen Umständen — also etwa in von der Sonne beschienenen eisernen Munitionskisten — allenfalls noch entstehen kann. Eine dann stattfindende Zersetzung wird bei Nitro-Explosivstoffen durch die Entwickelung von Stickoxyd- und Untersalpeter-

säure-Gasen („nitrosen Dämpfen") angezeigt, die bald riechbar und sichtbar sind, auch Lakmuspapier röten, sich jedoch noch schneller und zuverlässiger durch ihre bläuende Einwirkung auf Jodmetalle mit Stärke zu erkennen geben.

Einen sehr brauchbaren und vielbenutzten Apparat zur Beobachtung der Zeitdauern, innerhalb welcher bei verschiedenen Nitro-Explosivstoffen die Zersetzung beginnt, hat Abel konstruiert. Dieser Apparat (Abb. 22) besteht aus einem durch eine Gasflamme zu erhitzenden Wasserbade *W*, dessen Temperatur mit Hülfe eines Scheibler'schen Thermo-Regulators *r* beständig auf gleicher Höhe erhalten wird und welches eine bestimmte Gewichtsmenge des Explosivstoffes in einer Glaseprouvette *E* aufzunehmen hat. Diese Eprouvette wird nach Einbringung des Explosivstoffes durch einen Kork verschlossen, welcher central durchbohrt ist und in seiner Durchbohrung einen Glasstab *g* führt, an dessen unterem Ende mit Hülfe des dort eingeschmolzenen Platindrates ein mit Jodkalium-Stärkekleister imprägnierter und durch einen Tropfen verdünnten Glycerins (1 : 10) zur Hälfte feucht gehaltener Papierstreif *p* angehängt wird. Hat die Eprouvette, welche durch eine an dem Deckel des Wasserbades befindliche, aus drei Spangen gebildete Klemme in gehöriger Lage festgehalten wird, eine gewisse Zeit im Wasserbade verweilt, so beginnt eventuell die Zersetzung der exponierten Sprengmittelpartie, welche sich durch die Bildung einer schwachen violetten Spur an der Benetzungsgrenze des Papierstreifens kenntlich macht und von der Zerlegung des Jodkaliums durch die nitrosen Zersetzungsprodukte und der hiermit bedingten Bläuung des Stärkekleisters durch das freiwerdende Jod herrührt. Die Zeit, welche zwischen der Einsetzung der Probe in das Wasserbad und zwischen dem Auftreten der ersten Farbenspur an dem Reagenzpapiere verfliesst, wird nun als die Zeit betrachtet, welche für die Beurteilung der Stabilität des Explosivstoffes massgebend ist.

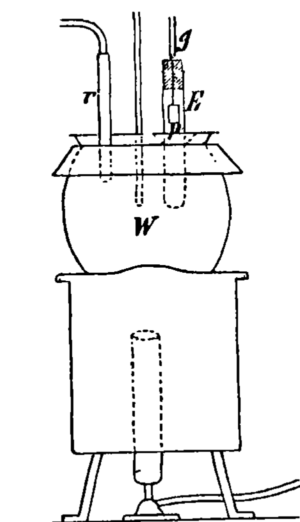


Abb. 22. Abel'scher Apparat zur Untersuchung der Stabilität von Explosivstoffen.

Wir erfahren aber — wie bereits oben betont wurde — durch dieses Verfahren nur, ob und wann unter den gegebenen Umständen bei den untersuchten Explosivstoffen die Zersetzung beginnt, nicht aber, ob und wie sie sich fortsetzt, und gerade diese letztere Frage ist für die Beurteilung der Stabilität von Explosivstoffen auch von hoher Bedeutung; denn von zwei Proben Schiessbaumwolle z. B. kann die eine Beimischungen

enthalten, die sich schon sehr bald zersetzen, deren Menge aber nicht hinreicht, um durch ihre Zersetzung die Zersetzung der Hauptmenge des untersuchten Explosivstoffes einzuleiten; die andere aber Beimischungen, die sich erst spät zu zersetzen anfangen, dann aber wegen ihrer grossen Menge höchst verderblich wirken. Von diesen Erwägungen ausgehend, hat Hauptmann Hess eine Methode zur Prüfung der Stabilität von Explosivstoffen erfunden, die den Verlauf von Explosivstoff-Zersetzungen in einzelnen Stadien genau zu verfolgen gestattet.

Von dem zu untersuchenden Explosivstoffe wird eine bestimmte Menge (etwa je 5 g) in einem Porzellanschiffchen möglichst gleichmässig ausgebreitet und mit diesem in eine Glasröhre *R* (Abb. 23) geschoben,

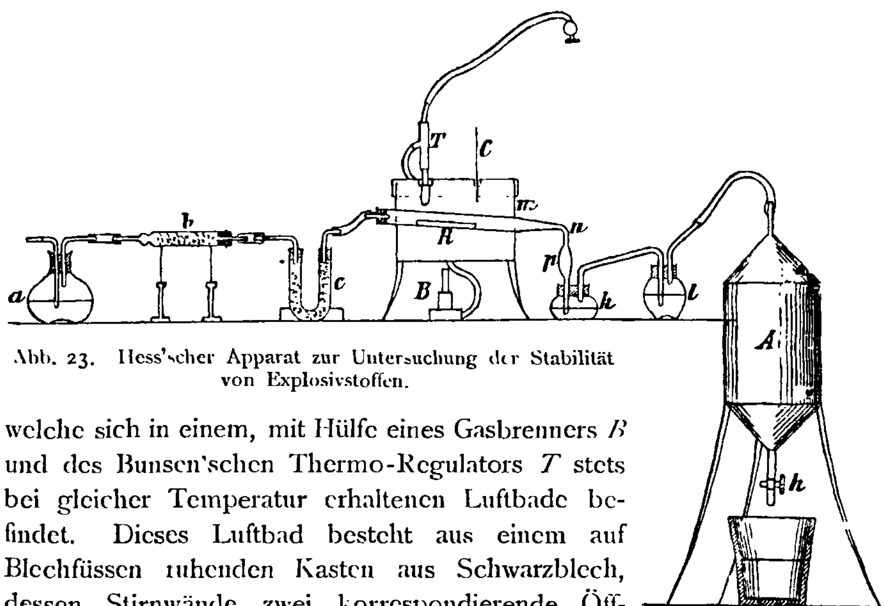


Abb. 23. Hess'scher Apparat zur Untersuchung der Stabilität von Explosivstoffen.

welche sich in einem, mit Hülfe eines Gasbrenners *B* und des Bunsen'schen Thermo-Regulators *T* stets bei gleicher Temperatur erhaltenen Luftbade befindet. Dieses Luftbad besteht aus einem auf Blechfüssen ruhenden Kasten aus Schwarzblech, dessen Stirnwände zwei korrespondierende Öffnungen zum Durchlassen der Röhre *R* besitzen, während in dem Deckel zwei kreisrunde Löcher, das eine zum Einsetzen des Regulators, das andere zum Einbringen des Thermometers *C* ausgeschnitten sind. Die Röhre *R* ist von der Austrittsstelle *m* an im Lumen verengt, bei *n* knieförmig nach abwärts gebogen und bei *p* wieder auf etwa 5 cm Länge erweitert. Während der Explosivstoff mit Hülfe der bisher beschriebenen Teile des Apparates auf eine gewisse höhere Temperatur gebracht und für die Dauer des Versuches kontinuierlich bei derselben erhalten wird, lässt man über ihn einen langsamen Strom atmosphärischer Luft hinziehen, welche durch den Aspirator *A* angesaugt, beim Passieren des Kölbchens *a* mittelst Jodkaliumstärke-Lösung von Ozon und von nitrosen Dämpfen, beim Durchgange durch das mit Ätzkalistücken gefüllte Glasrohr *b* von

Kohlensäure und anderen noch nicht absorbierten flüchtigen Säuren und endlich bei Passierung des U-förmigen Rohres *c* von jeder Spur von Feuchtigkeit befreit wird.

Die so gereinigte und getrocknete Luft ist sehr geeignet, von dem Augenblicke des Beginnes der Zersetzung an alle flüchtigen Zersetzungsprodukte, unter welchen bekanntlich die zuerst auftretenden Sauerstoff-Verbindungen des Stickstoffes durch ihr Verhalten gegen Jodmetalle so gut charakterisiert sind, aufzunehmen, und wird, mit ihnen beladen, vor ihrem Eintritte in den Aspirator durch das Kölbchen *k*, welches Jodzinkstärke-Lösung enthält und durch den grösseren Kolben *l*, in welchem eine weitere, mit Wasser verdünnte Menge dieser Lösung sich befindet, geführt. In *k* befinden sich jedesmal 30 kbcm der Jodidstärke-Lösung, welche durch Herstellung einer dünnflüssigen Stärkeflüssigkeit und Eintragen von 20 g Jodzink pro Liter zu bereiten, und für Beschickung des Kolbens *l* noch mit dem vierfachen Volum Wasser zu verdünnen ist.

Die charakteristischen Zersetzungs-Reaktionen spielen sich insgesamt im Innern des Kölbchens *k* ab, während der Inhalt des Kolbens *l* nur dazu dient, einen etwa zu rasch werdenden Verlauf der Zersetzung durch Bläuung der in ihm enthaltenen Flüssigkeit erkennen zu lassen. Um den Luftstrom möglichst gleichförmig über die Probeobjekte ziehen zu lassen, kann die Anzahl der Luftblasen festgestellt werden, welche die Flüssigkeit in *k* in einer Minute zu passieren haben; durch Regulierung mit dem Abflusshahne *h* des Aspirators lässt sich die gewünschte Stärke, respektive Geschwindigkeit des Luftstromes jederzeit erzielen. Bei den Hess'schen Versuchen wurde die Geschwindigkeit des Luftstromes derart reguliert, dass binnen 6 Stunden 10 Liter Luft den Apparat passierten.

Die ersten Zeichen einer Zersetzung können nun in dem Auftreten eines blauen oder violetten Ringes erblickt werden, welcher sich in der Nähe des unter die Flüssigkeitsoberfläche in *k* tauchenden Rohrendes allmählich ansetzt.

Man kann den Moment der Wahrnehmung einer ersten Spur jenes farbigen Ansatzes als das erste Stadium, den Moment, wo der Ring sich vollkommen geschlossen hat und deutlich sichtbar geworden ist, als ein zweites Stadium, den Augenblick, in welchem eine erste Spur von Färbung der Flüssigkeit in *k* bemerkbar wird, als ein drittes, jenen Zeitpunkt, in welchem die Färbung deutlich auftritt, beziehungsweise in welchem sie so stark ist, dass die Flüssigkeit ihre Durchsichtigkeit in Schichten von etwa 5 cm Dicke verliert, als ein viertes, eventuell fünftes Stadium der Zersetzung ansehen und kann endlich die Exponierung selbst so lange fortsetzen, bis eine Entzündung oder Explosion des Präparates eintritt. — Für praktische Zwecke dürfte es hinreichen, die Beobachtung nicht weiter

Name des Explosivstoffes	Nummer des Versuches	Zeit in Minuten vom Beginne der Exponierung an: bis zum Erscheinen der ersten Spur eines Ansatzes	bis zum Deutlichwerden und der Vollendung eines blauen Ringes	bis zum Eintritte einer Spur von Färbung der Flüssigkeit	bis zur deutlichen Färbung der Flüssigkeit	Anmerkung.
Schiessbaumwolle, gepresste	1	300	der Ansatz verschwindet wieder nach 500 Minuten, und selbst nach 1800 Min. Flüssigkeit ungefärbt			Dieses Präparat, aus Lenk'scher Wolle nach dem englischen Verfahren zu Hirtenberg gemaischt und gepresst, war durch viele Jahre teils in fliessendem Wasser (in Hirtenberg), teils in stehendem Wasser (in einer Holzkufe im Gebäude des Militär-Comité's) deponiert.
	2	360	nicht fortgesetzt			
	3	347	nicht fortgesetzt			
Schiessbaumwolle, lose, Lenk'sche	1	42	390	nach 1350 Minuten noch keine Spur von Färbung sichtbar		War durch viele Jahre in Hirtenberg in fliessendem Wasser deponiert.
	2	215	395	nicht fortgesetzt		
Schiessbaumwolle, gepresste, englische	1	9	309	1215	1360	Diese Schiessbaumwolle war durch etwa 8 Jahre im trockenen Zustande, schliesslich noch durch 1 Jahr unter Wasser in einer Holzkufe im Gebäude des Militär-Comite's deponiert worden.
	2	12	386	1300	1450	
Schiessbaumwolle, gepresste, deutsche (Muster 1)	1	19	23	27	43	Geliefert im Monate April 1879 von der deutschen Schiesswollfabrik zu Kruppamühle. Enthielt an 30 % Feuchtigkeit und wurde an der Luft getrocknet.
	2	18	22	30	47	
	3	13	25	33	41	
Schiessbaumwolle, gepresste, deutsche (Muster 2)	1	6	10	17	25	Geliefert im Monate März 1879 von der deutschen Schiesswollfabrik zu Kruppamühle. Im Luftbade bei 50° C. getrocknet worden.
	2	7	12	19	28	
Schiessbaumwolle, gepresste, deutsche (Muster 3)	1	28	50	nicht fortgesetzt		Geliefert im Monate Mai von Kruppamühle. Gehalt an Soda 2,6 %.
	2	32	58	nicht fortgesetzt		
Schiessbaumwolle, gepresste, deutsche (Muster 4)	1	9	12	65	70	Geliefert im Monate Mai von Kruppamühle. Gehalt an Soda 1,5 %.
	2	9	13	66	76	
Nitriertes Holzzeug	1	7	12	62	80	Von Diller in St. Lambrecht. Probe eines zur Fabrikation von Rhexit verwendeten Präparates.
	2	10	12	61	74	
Nitroxylin	1	13	18	153	175	Aus der Fabrik von Volkmann's Collodin-Fabriks-Aktien-Gesellschaft zu Marchegg. Nitrierte Holzfaser mit Nitraten imprägniert.
	2	12	18	152	172	

als bis zur deutlichen Färbung der 30 kbcm messenden Flüssigkeit in *k* fortzusetzen, weil man damit schon einen guten Einblick in das Tempo des Zersetzungsganges bekommt. Eine weitere Ausdehnung der Versuche nimmt nicht nur zu viel Zeit in Anspruch, sondern gefährdet endlich auch jedesmal den ganzen Apparat, oder mindestens das Thermometer und den Thermo-Regulator.

Die Tabelle auf S. 153 zeigt die Resultate der von Hess mit verschieschiedenen Sorten Nitrocellulose bei $+ 70^0$ C. vorgenommenen Stabilitätsversuche.

Einige Pyroxyline wurden auch auf ihre Stabilität bei $+ 100^0$ C. untersucht. Die folgende Tafel zeigt die Ergebnisse.

Name des Explosivstoffes	Nummer des Versuches	Zeit in Minuten vom Beginne der Exponierung an: bis zum Erscheinen der ersten Spur eines Ansatzes	bis zum Deutlichwerden und der Vollendung eines blauen Ringes	bis zum Eintritte einer Spur von Färbung der Flüssigkeit	bis zur deutlichen Färbung der Flüssigkeit	Anmerkung.
Schiessbaumwolle, gepresste	1	150	163	181	240	Präparat, aus Lenk'scher Wolle nach dem englischen Verfahren zu Hirtenberg gemaischt und gepresst, war durch viele Jahre teils in fliessendem Wasser (in Hirtenberg), teils in stehendem Wasser (in einer Holzkufe im Gebäude des Militär-Comite's) deponiert.
	2	180	nicht fortgesetzt			
Schiessbaumwolle, Lenk'sche, lose	1	5	25	50	80	Das Präparat, vor mehr als 10 Jahren zu Hirtenberg dargestellt, war seither im trockenen Zustande im bestandenen k. k. Genie-Comité, später im Militär-Comité verwahrt worden.
	2	16	32	76	nicht fortgesetzt	
	3	30	102	nicht fortgesetzt		
	4	24	50	125	152	
Kollodiumwolle	1	8	10	18	25	Von V. Angerer in Wien. Trocken deponiert.
	2	6	10	18	22	
Nitroxylin	1	4	5	11	nicht fortgesetzt	Aus Volkmann's Fabrik zu Marchegg.
	2	5	6	10		

Die beiden „durch viele Jahre in fliessendem Wasser deponierten“ Schiesswollen zeigten sich also bei 70^0 allen anderen versuchten Nitrocellulosen weit überlegen; die nach dem in England verbesserten v. Lenk'schen Verfahren (welches im nächsten Kapitel zu besprechen sein wird) bereitete, war sogar nicht einmal im stande, eine dauernde Spur einer

Reaktion hervorzubringen, und auch bei 100⁰ war sie weitaus die stabilste. Was das fliessende Wasser aus diesen beiden Nitrocellulosen zu ihrem Vorteil vor den anderen weggeschwemmt, waren wohl hauptsächlich Reste freier Säure; denn die aus Harz, Fett u. s. w. bei der Nitration entstehenden Nebenprodukte sind meistens in Wasser unlöslich, und ausserdem enthält eine einigermassen reine Baumwolle stets nur recht wenig Fremdstoffe: darin liegt auch hauptsächlich ihre vorzügliche Eignung für eine leichte und vollständige Nitration. An Reinheit noch am nächsten kommt der Baumwolle die nach neueren Verfahren hergestellte Holzcellulose, und auch im Jahre 1879 war die Herstellung von Holzzeug für die Nitration schon ziemlich fortgeschritten; trotzdem lieferten die beiden von Hess untersuchten Holzpyroxyline verhältnismässig ungünstige Resultate; denn sowohl das Volkmann'sche „Nitroxylin", als auch das Diller'sche nitrierte Holzzeug (welches nach Tränkung mit Nitroglycerin „Rhexit" ergeben sollte, vgl. Hess in den „Mitth." 1876, Heft 2) bestand zu grossem Teil aus in der Hess'schen Probe indifferenten anorganischen Salzen, und gab trotzdem fast ebenso schnell, reichlich und andauernd Zersetzungsprodukte ab, wie die schlechteren Schiessbaumwollen.

Noch mehr tritt natürlich die schädliche Wirksamkeit der mitnitrierten Fremdstoffe hervor, wenn man eine aus recht unreiner Cellulose hergestellte Nitrocellulose zum Vergleich heranzieht. Eine der minderwertigsten Cellulosen ist z. B. die Strohcellulose; da sie aber sehr billig ist, wurde die Verwendung der auf mechanischem oder chemischem Wege zerkleinerten und gereinigten Strohfaser zum Zwecke der Darstellung eines Explosivstoffes wiederholt versucht; im Anfang der achtziger Jahre geschah dies u. a. von J. A. Lanferey und J. L. Renard in Chartres. Zu diesem Zwecke wurde Stroh mit 1 bis 2 % Soda oder Pottasche enthaltendem Wasser 15 bis 16 Stunden lang gekocht, hierauf zermahlen und völlig ausgewaschen. Die Masse wurde dann zu Papier verarbeitet, in kleine rechteckige Schnitzel von 2 bis 4 mm Seitenlänge zerschnitten und mittelst Maschinen mit zahlreichen kleinen Löchern versehen, um die Einwirkung der Säure zu begünstigen. Das Säurebad bestand aus 3 Teilen rauchender Salpetersäure und 7 Teilen konzentrierter Schwefelsäure. Nach bewirkter Nitrierung wurde die Masse gut ausgewaschen und mit Salpeter, Holzkohle und Dextrin gemischt oder mit Nitroglycerin getränkt (letztere Mischung hiess Polem).

Zum Zwecke der Nitrierung wurde hier, wie fast ausnahmslos, Roggenstroh seines verhältnismässig geringen Aschengehaltes wegen verwendet. Während dieses nach Analysen von Boussingault, Wolff und Dietlen (Fütterungslehre von Settegast, II, S. 172) auf Trockensubstanz bezogen, einen Aschengehalt von 3,6 bis 3,7 % aufweist, haben alle anderen Stroh-

sorten einen Aschengehalt von 5 bis 10 %. Aus dieser Ursache sind letztere, abgesehen von ihren histologischen Eigenschaften, für die Zwecke der Nitrierung nicht geeignet. Aber auch aus Roggenstroh kann die Cellulose der Strohfaser, um deren Nitrierung es sich handelt, für die Zwecke der Praxis niemals vollständig rein abgeschieden werden, sondern ist immer noch mit wechselnden Mengen fremder Beimengungen verunreinigt. Als solche sind zu betrachten: Fett, Wachs, Harz, Pektinstoffe, Mineralsubstanzen etc., welche, als Bestandteile der Strohfaser, der zu nitrierenden Cellulose anhaften. Da dieselben gleichfalls dem Nitrierungsprozesse unterzogen werden, so enthält die nitrierte Strohfaser, je nach dem Grade der vorhergegangenen Reinigung, wechselnde, aber stets erhebliche Mengen fremder Nitroprodukte, welche vermöge ihrer leichten Zersetzlichkeit sehr nachteilig auf die Beständigkeit des Explosivstoffes einwirken. Das zeigte sich auch bei den Stabilitätsversuchen, welche im Jahre 1882, nachdem die Lanfercy-Renard'schen Explosivstoffe bekannt geworden waren, Hauptmann Dolliak im k. k. technischen und administrativen Militär-Comité nach der Hess'schen Methode mit Strohnitrocellulose anstellte.

Das Grundmaterial der Nitrocellulose war Roggenstroh, welches vor der Nitrierung auf mechanischem Wege zerkleinert und mit kohlensaurem Alkali gereinigt wurde. Das nitrierte Präparat hatte eine leicht braungelbe Farbe und sah verfilzt und ziemlich zerfasert aus. Der Aschengehalt betrug 2,71 bis 3,10 %, im Mittel 2,90 %. Die Stickstoffbestimmung ergab einmal 10,94, ein zweites Mal 11,20 %, im Mittel 11,07 % N. Das Produkt hatte also keinen hohen Stickstoffgehalt, sondern nur ungefähr denjenigen der in Äther löslichen Schiessbaumwollen des Handels (Kollodiumwollen). Stickstoffbestimmungen von Hess (Notiz in den „Mitth.“ von 1881, S. 137) hatten ergeben in der

Kollodiumwolle von Moll in Wien	10,98 bis 11,23 % N.
Englischen Schiesswolle von Waltham Abbey 1874	12,56 bis 12,67 % N.
Preussischen Schiesswolle von Kruppamühle 1879	12,17 bis 12,29 % N.

Dass niedriger nitrierte Pyroxyline etwa zersetzlicher wären, als hoch nitrierte, ist nie beobachtet worden; im Gegenteil wurde Kollodiumwolle in Depots photographischer Bedarfsartikel ohne Bedenken und ohne Unfall selbst zu Zeiten aufbewahrt, als man die eigentliche, hochnitrierte Schiesswolle gar nicht mehr lagern zu lassen wagte. Auch zurückgebliebene Reste von Säure können die in den Zahlen der folgenden Tabelle hervortretende Unstabilität der versuchten Strohnitrocellulose nicht verschuldet haben; denn „im wässerigen Auszuge konnte keine Spur einer freien Säure nachgewiesen werden.“ Trotzdem musste „die chemische Stabilität der

nitrierten Strohfaser im Vergleiche zu jener der Schiesswolle als sehr gering bezeichnet werden“; denn es „üben die in der Strohfaser neben der Cellulose enthaltenen Bestandteile, welche gleichfalls nitriert werden und leicht zersetzlich sind, einen nachteiligen Einfluss auf die chemische Stabilität des Präparates. Die sich nicht abspaltenden nitrosen Produkte der neben der Nitrocellulose vorhandenen fremden Nitrokörper müssen als der Keim der leichten Zersetzlichkeit des Präparates bezeichnet werden.“

Bezeichnung des Präparates	Erscheinen der ersten Spur eines Ansatzes	Deutlichwerden und Vollendung des blauen Ringes	Eintritt einer Spur von Färbung der Flüssigkeit	Deutliche Färbung der Flüssigkeit	Anmerkung
	ausgedrückt in Minuten vom Beginn der Exposition an gerechnet				
Strohnitrocellulose bei 60° C. im trockenen Luftstrome getrocknet	momentan		140	300	
Strohnitrocellulose, natürlich feuchtes Präparat (Feuchtigkeit = 2,2 %)	3	8	60	200	[1]

Nach einem freilich weit weniger genauen, aber zur Nachweisung des Bestehens so grosser Differenzen genügenden Verfahren wurde auch schon die Stabilität von aus Werg und aus Baumwolle hergestellten Nitrocellulosen bei den bereits erwähnten ersten preussischen Versuchen verglichen. Es zeigte sich, dass die aus Werg bereitete Nitrocellulose schon bei der Einwirkung von + 26° R., also einer Temperatur, wie sie in unserem Klima an Sommertagen im Schatten nicht allzu selten herrscht, in zwei Stunden Lakmuspapier rötete. Bei der versuchten Schiessbaumwolle trat dieselbe Reaktion erst bei 65—70° R. (also bei etwas über 70° C.) ein; dann allerdings schon „in wenigen Minuten“ und „stark“, so dass der

[1] Die verschiedene chemische Stabilität des vorher getrockneten und des natürlich feuchten Präparates erklärt Dolliak dadurch, dass bei ersterem bereits durch den Trocknungsprozess eine Lockerung des chemischen Bestandes des Präparates stattgefunden und dasselbe bereits die Disposition zur rascheren Zersetzung nach der Trocknung in sich getragen habe, während im zweiten Falle diese Disposition eben nicht vorhanden gewesen sei. Da aber die Zersetzungsprodukte des, im natürlich feuchten Zustande exponierten Präparates in ihrer Gesammtheit auf dasselbe einwirkten, so müsse auch die weitere Zersetzung um so viel rascher vor sich gehen. Das ist gewiss richtig; sicher wird aber die anfangs langsamere Zersetzung der feuchten Nitrocellulose auch dadurch verursacht, dass die zugeführte Wärme zunächst zur Verdampfung des Wassers verbraucht wird.

Bericht wohl mit Recht vermutet, dass auch diese Nitrocellulose binnen einer längeren Zeit selbst bei weit niedrigeren Temperaturen einer teilweisen Zersetzung unterworfen war, der die an der Schiessbaumwolle beobachtete Ungleichmässigkeit der ballistischen Kraftäusserung — es ergaben sich unter den Anfangsgeschwindigkeiten von fünf Schüssen Unterschiede von nicht weniger als 589 Fuss! — zum teil zuzuschreiben ist.[1]) Zu einem weiteren Teil führt aber der Bericht gleichfalls mit Recht die Ungleichmässigkeit der Kraftäusserung darauf zurück, „dass es nicht leicht ist, jedesmal Baumwolle und Säuren von gleich guter Beschaffenheit zu erhalten, und dass eine gleichmässige Fertigung sehr grossen Schwierigkeiten unterliegt," so dass die versuchte Schiessbaumwolle auch von vornherein und nicht im geringsten zersetzt keineswegs immer derselbe Stoff war. Wie grosse Unterschiede in der Nitrationshöhe des Produktes z. B. schon ganz geringe Schwankungen im Konzentrationsgrad der Nitriersäure trotz sonst völlig gleich günstig bleibender Umstände hervorrufen können, und in wie engen Grenzen der Konzentration der Salpetersäure überhaupt eine Nitration möglich ist, zeigen am besten Versuche von Vieille, welcher Salpetersäure von verschiedener Stärke unter der stets gleichen Temperatur von $+ 11^0$ C. in über hundertfacher Menge auf reine Baumwolle einwirken liess, bis von Zeit zu Zeit entnommene Proben keine Fortschritte der Nitration mehr zeigten, und dabei folgende (in Kubikcentimetern NO bei 0^0 und 760 mm Barometerhöhe, deren Zahl

---

[1]) Die Veränderlichkeit der Schiessbaumwolle hielt der Anreger und Leiter dieser ersten preussischen Versuche sogar für den Hauptgrund, der gegen ihre Verwendbarkeit gerade als Schiesspräparat spreche. Der damals als Offizier zur Artillerie-Werkstatt kommandierte Werner Siemens kam ohne Kenntnis des Schönbein'schen Verfahrens und noch vor den Veröffentlichungen Knop's, Karmarsch und Heeren's u. s. w. auf den Gedanken, bei der Nitration Schwefelsäure zur Entwässerung anzuwenden. Vorher hatte man in Berlin nur mit Salpetersäure zu nitrieren versucht und wenig brauchbare Produkte erhalten; die Siemens'sche Schiessbaumwolle erwies sich bei einer vom Kriegsminister persönlich veranstalteten Pistolen-Schiessprobe als so kräftig, dass man ausgedehntere Versuche mit ihr in der Spandauer Pulverfabrik unter Siemens' Leitung anordnete. Der von Siemens erstattete Endbericht ging aber dahin, dass die nach seiner Methode hergestellte Schiessbaumwolle „ausgezeichnete Eigenschaften als Sprengmittel habe und geeignet scheine, anstatt des Sprengpulvers zu militärischen Zwecken verwendet zu werden, dass sie aber das Schiesspulver nicht allgemein ersetzen könne, da sie keine hinlänglich feste, chemische Verbindung darstelle und ihre Wirkung nicht konstant genug sei." —

Siemens kannte übrigens auch noch, als er in den Jahren 1889—1892 seine so inhaltsreichen „Lebenserinnerungen" schrieb, das Schönbein'sche Verfahren nicht und sagt in ihnen (S. 43 der 2. Aufl.) ganz richtig, Otto gelte meistens als der Erfinder der Nitration unter Zusatz von Schwefelsäure. Das im vorigen Kapitel Ausgeführte wird vielleicht dazu beitragen, diese wohl hauptsächlich durch die grosse Schweigsamkeit Schönbein's über sein Verfahren unklar gewordene Erfindungsgeschichte der Schiessbaumwolle festzustellen. —

durch 0,62693 multipliziert die Zahl der Milligramme Stickstoff ergiebt, ausgedrückte) Resultate erhielt (Ber. d. Par. Akad. Bd. XCV, S. 132—135):

Spec. Gew. der Säure	Kbcm NO im Gramm des Produktes	Eigenschaften des Produktes
1,502	202,1	Aussehen wie Baumwolle, vollständig löslich in Essigäther, sehr wenig löslich in Ätheralkohol.
1,497	197,9	
1,496	194,4	Struktur dieselbe. Vollständig löslich in Essigäther und in Ätheralkohol.
1,492	187,3	
1,490	183,7	
1,488	165,7	Struktur unverändert. Quillt in Essigäther und Ätheralkohol auf und lässt sich zu Fäden ziehen.
1,483	164,6	
1,476	141,1	Die Baumwolle löst sich in der Säure schnell zu einem durch Wasserzusatz fällbaren Schleim auf. Das Ausgefällte quillt in Essigäther auf, ohne sich aufzulösen; Ätheralkohol ist ohne Wirkung.
„	139,8	
1,472	140,0	
1,469	139,7	
1,463	128,6	Die Säure löst einen Teil der Baumwolle; das Gelöste ist durch Wasser nicht ausfällbar. Das Ungelöste zeigt sich beim Auswaschen sehr zerreiblich; Essigäther und Ätheralkohol sind darauf ohne Wirkung.
1,460	122,7	
1,455	115,9	
1,450	108,9	
1,442	„	Lässt man Säure und Baumwolle 14 Tage lang stehen, so erhält man ein Produkt, welches durch Jod geschwärzt wird und nur unbedeutende Nitration zeigt; auch erhält man nur sehr wenig davon, da die Säure den grössten Teil der Baumwolle zu unfällbaren Produkten löst.
1,430	„	

Die höchsterreichbare Nitration wurde mit Säure von circa 1,500 spec. Gewicht in 2—3 Stunden, mit der von 1,483 spec. Gewicht erst in 120 Stunden, also in einer Zeit, die in der Praxis nie auf die Nitration verwendet wird, erreicht, so dass wir annehmen müssen, dass in der Praxis jede Verdünnung der Nitriersäure auf die Höhe der Nitration noch schädlicher einwirkt.

Ausser verschieden hoher Nitrierung und verschieden weit fortgeschrittener Zersetzung der verwendeten Produkte kamen in den verschiedenen Leistungszahlen, die man in der ersten Zeit mit der Schiessbaumwolle erzielte, auch Verschiedenheiten zum Ausdruck, die durch die Art der verwendeten Waffen verschuldet waren und mit der Vervollkommnung dieser von selbst fortfielen.

Fast alle Vorderladungs-Gewehre und -Geschütze und die Hinterladungs-Gewehre mit weicher Papier- oder Zeug-Patrone wiesen noch nicht, wie die Gewehre mit steifen (meistens metallenen) Patronenhülsen und die gezogenen Hinterladungs-Geschütze, in welchen das Geschoss von hinten

stets in die gleiche Lage (am Eintritt in die Züge) vorgeschoben wurde, der Treibladung einen fest bestimmten, stets gleichen Raum an; vielmehr mussten bei einem so zusammendrückbaren Material, wie die Schiessbaumwolle in ihrer ursprünglichen — und auch in der Gestalt der ersten Schiesswoll-Kornpulver — es war, leicht Verschiedenheiten in der Länge des anfänglichen Verbrennungsraumes eintreten, die verschiedene Anfangsdrücke und verschiedene Längen des vom Geschoss im Rohr durchlaufenen Weges, also auch verschieden hohe Ausnutzung der durch die Explosion verfügbar werdenden Arbeitsmenge verursachten. Und war bei der Explosion der Abschluss kein ganz dichter, so traten auch in der Arbeitsmenge selbst sehr bedeutende Unterschiede auf. Die im Anfang dieses Kapitels beschriebenen Versuche von Sarrau und Vieille zeigen, dass es auf die Ergebnisse einer Schiesswoll-Explosion ohne erheblichen Einfluss ist, ob der Druck einige Hundert oder einige Tausend Atmosphären erreicht; ganz andere Ergebnisse aber liefert eine nur etwa unter dem gewöhnlichen Barometerdruck stattfindende Verbrennung. L. v. Károlyi, — dessen Untersuchungen über die Verbrennungsprodukte des Pulvers im Anfang dieses Bandes erwähnt wurden —, hat auch die Produkte der Verbrennung von Schiessbaumwolle unter äusserst geringem Druck untersucht. Durch eine Eudiometerröhre, also eine oben gasdicht verschliessbare Glasröhre von ca. 1 m Länge ging oben ein dünner Platindraht, an dem 15—20 Milligramm v. Lenk'scher Schiessbaumwolle (die normal 25,100 % C, 3,073 H, 59,391 O und 12,436 N enthalten sollte; vgl. Rutzky a. a. O. S. 175) befestigt wurden. Dann wurde die Röhre mit Quecksilber gefüllt, und durch Eintauchen des unteren, offenen Endes in ein Gefäss mit Quecksilber oben die Torricelli'sche Leere hergestellt. Die Entzündung der Schiessbaumwolle wurde durch Glühendmachen des Platindrahtes auf galvanischem Wege bewirkt. Der Druck im Verbrennungsraume kann natürlich nie erheblich mehr, als 1 Atmosphäre betragen haben, da sonst der 1 Atmosphäre betragende äussere Luftdruck die Quecksilbersäule nicht in der Röhre gehalten hätte. Die Verbrennungsprodukte waren:

	Dem Gewichte nach.	Dem Volumen nach.
Kohlensäure	30,43	19,11
Kohlenoxyd	28,92	28,55
Stickstoff	8,71	8,56
Stickoxydgas	9,59	8,83
Grubengas	6,47	11,17
Kohlenstoff	1,60	1,85
Wasserdampf	14,28	21,93
	100,00	100,00

Wir sehen hier die Produkte einer sehr unvollkommenen Verbrennung: einerseits Stickstoffoxyd, welches noch Sauerstoff abgeben könnte, und andererseits mehrere Stoffe, die sich noch unter grosser Wärmeentwickelung mit diesem Sauerstoff verbinden könnten.

Entzünden wir eine Ladung Schiessbaumwolle in einem Raume, aus welchem die Verbrennungsgase entweichen können, so verbrennen natürlich immer wenigstens die ersten Partieen unter einem Druck von nur etwa einer Atmosphäre. Ist die zuerst entzündete Partie so gross, wie sie sich etwa bei der unmittelbar durch tiefes Eindringen der brennenden Gase und heftige Erschütterung erfolgenden Einwirkung von etwa 1 g Knallquecksilber auf gepresste Schiessbaumwolle gestaltet, so kann sich der plötzlich erfolgenden Entwickelung so grosser Gasmengen gegenüber auch die freie atmosphärische Luft nahezu wie ein fester Körper verhalten, so dass die Verbrennung nahezu wie in einer festen Einschliessung erfolgt. Diese Entdeckung Brown's ist für die Sprengtechnik äusserst wertvoll, und es wird im nächsten Bande dieses Werkes noch des weiteren auf sie zurückzukommen sein. In Feuerwaffen wünscht man aber aus bekannten Gründen so äusserst heftige Verbrennungen gar nicht; und in Handfeuerwaffen würde beim Anbringen einer Zündung von 1 g Knallquecksilber die eigentliche Treibladung dieser „Zündung“ gegenüber nahezu verschwinden. Die Zündungen der Feuerwaffen entzünden von einer Schiesswollladung immer nur soviel auf einmal, dass, wenn die Verbrennungsgase einen Ausweg aus dem Ladungsraume finden, die atmosphärische Luft ihnen bequem Platz machen kann und die Verbrennung zunächst eine hauptsächlich von der Weite der Öffnung, durch welche die Verbrennungsgase entweichen, abhängige Zeit lang nur etwa unter dem gewöhnlichen Luftdruck von einer Atmosphäre stattfindet.

In den modernen Kriegs-Handfeuerwaffen verbrennen die Treibmittel unter einem hinten durch die an die Wände des Ladungsraumes gepresste Metallhülse, vorn durch das in den verengerten Lauf gepresste Geschoss fast absolut gasdicht gestalteten Abschluss,[1]) und auch die Geschütze gestatten nur unerhebliche Gasentweichungen; ganz anders waren aber die Feuerwaffen, in denen die ersten Erprobungen der Schiessbaumwolle

[1]) Eine Ausnahme bildeten bis zur neuesten Zeit die Revolver, bei denen zwischen Trommel (Patronenwalze) und hinterem Laufende bedeutende Gasentweichungen stattfanden; beim neuen Nagant'schen Revolver, welcher für rauchschwaches Pulver bestimmt ist und gegenwärtig in der russischen Armee eingeführt wird, ist aber dieser Übelstand auch schon beseitigt. Die Patronenwalze ist nur so lang, dass nach dem Laden die Patronenhülsen vorn aus ihr herausstehen, und wird vor dem Schuss so weit nach vorn geschoben, dass die Hülse der zu verfeuernden Patrone zum teil in den Lauf eintritt und beim Schuss auch zwischen Trommel und Lauf einen gasdichten Abschluss herstellt.

erfolgten. Grösstenteils waren es Vorderladungs-Waffen, in welche das Geschoss stets gasdicht einzusetzen für den Kriegsgebrauch viel zu umständlich gewesen wäre, und das fast einzige Hinterladungs-Gewehr jener Zeit, das preussische Zündnadel-Gewehr, war mit Absicht auf Gasentweichung am Geschoss vorbei eingerichtet. Die Papierhülse der Patrone dieses Gewehres war vorn über dem Geschoss zugebunden und bildete, wenn der untere Teil von der Treibladung zerrissen wurde, über dem Geschoss eine Kappe, von der ein schädlicher Einfluss auf die Regelmässigkeit der Geschoss-Flugbahn zu befürchten war. Man machte also den „Treibspiegel" von Papiermasse, der zwischen Treibladung und Geschoss lag, immer nur so gross, dass die Explosionsgase an ihm vorbeistreichen und die Papierkappe vom Geschoss abstreifen konnten. Dabei war auch noch die Toleranz in der Weite der Läufe am Geschosslager und der Grösse der Treibspiegel gross, so dass die Gasentweichungen sehr verschieden ausfielen. Es schwankte (nach Hentsch, Ballistik der Handfeuerwaffen, Leipzig 1873, S. 95—96) der Inhalt des Querdurchmessers der Rohrseele zwischen 2,0361825 und 2,1061988 Quadratmillimetern, der Inhalt des Querdurchmessers des Spiegels zwischen 2,031489 und 2,0979461 Quadratmillimetern. Kam also zufällig der grösste Spiegel in das engste Rohr, so war nicht nur kein Spielraum vorhanden, sondern es musste der Spiegel um 0,0617636 Quadratmillimeter seines Querschnitts zusammengepresst und ein recht guter Abschluss erzielt werden; in anderen Fällen aber ergaben sich Gasausströmungsöffnungen bis zu 0,0748499 Quadratmillimetern. Dabei war das Zündnadelgewehr auch nach hinten nicht gasdicht, und das in schwankendem Masse. Durch das Nadelrohr traten immer je nach dem von vornherein oder infolge von Abnutzung des Materials verschiedenen Verhältnis der Weite dieses Rohres zum Durchmesser der Nadel verschiedene Mengen der Explosionsprodukte in die Schlossteile; und die Dichte des Abschlusses zwischen Verschlusscylinder und hinterem Ende des Laufes war davon abhängig, wie stark der Schütze nach dem Vorführen und Rechtsdrehen des Verschlusscylinders auf den Griffteil (V in Abb. 19 und 20) schlug, um vermittelst der Schraubenflächen am Griffteil und an der Verschlusshülse (L in Abb. 19) ein weiteres Vorgehen des Verschlusscylinders zu bewirken. Es ist also wohl erklärlich, wenn gerade im Zündnadelgewehr, das wegen des unvermeidlichen Eindringens der Explosionsprodukte des Treibmittels in die Schlossteile wie kein anderes Gewehr jener Zeit ein rückstandfreies Treibmittel brauchte und wegen seiner Feuergeschwindigkeit die Rauchlosigkeit am besten verwerten konnte, die Schiesswolle die schlechtesten Resulte ergab, die auch bald zu einer völligen Einstellung der Versuche führten.

In den nicht gasdichten Gewehren konnte die Schiessbaumwolle keine gleichmässigen Ergebnisse liefern, selbst wenn das Treibmittel immer gleich gewesen wäre. Dass es teils schon von der Fabrikation an, teils durch Zersetzung während des Lagerns sehr verschieden sein konnte, wissen wir bereits; noch eine dritte Verschiedenheit aber, die hauptsächlich bei einer Verbrennung der Schiessbaumwolle unter undichtem Verschluss zum Ausdruck kommt, bleibt zu besprechen. Die Schiessbaumwolle ist zu ihrem Vorteil vor dem Pulver durch Wasser nicht in ihrem Wesen veränderlich; im Gegenteil lässt sie sich unter Wasser oder wenigstens feucht am besten konservieren. Lenk'sche Schiessbaumwolle, die im Jahre 1865 bei Hirtenberg in fliessendes Wasser versenkt worden, zeigte sich im Jahre 1885 noch vollkommen brauchbar (Maresch-Maudry's Waffenlehre, Heft I, S. 85), und heute pflegt man Schiesswolle mit circa 30 % Wassergehalt von der Fabrikation her aufzubewahren. Soll sie dann zum Schiessen weiter verarbeitet werden, so trocknet man sie; soll sie aber zum Sprengen dienen, so kann sie ihre Feuchtigkeit behalten; Brown hat entdeckt, dass sich nasse Schiessbaumwolle durch eine kleine Ladung trockener zur Explosion bringen lässt, und dass die Explosion dann denselben Charakter hat, wie diejenige trockener, durch eine starke Knallquecksilberkapsel gezündeter Schiessbaumwolle (vgl. oben). Unter so hohem Druck wirkt also der Wassergehalt auf die Explosion nicht erheblich verzögernd. Ganz anders aber ist es, wenn feuchte Schiessbaumwolle unter solche Bedingungen verbrennt, dass die Gase zum teil frei entweichen können. Das Wasser wirkt dann nicht nur wie jede fremde, unexplosive Beimischung, sondern es nimmt auch durch die Bildung entweichenden Dampfes so bedeutende Mengen der zur Fortpflanzung des Feuers notwendigen Wärme weg, dass schon bei demjenigen Feuchtigkeitsgehalt, welchen trocken deponierte Schiessbaumwolle aus der Atmosphäre aufzunehmen pflegt, also etwa 2—3 %, ihre Empfindlichkeit gegen mehr oder weniger dichten Verschluss bei der Explosion erheblich zunimmt. Bei den preussischen Versuchen zog Schiessbaumwolle, der atmosphärischen Luft während 6 Tagen ausgesetzt, 1,90 %, mit Wasser unter der luftleer gepumpten Glocke einer Luftpumpe bis 3,10 %; Pulver nie über 1,50 % Feuchtigkeit an. Die Schiessbaumwolle mit 1,90 % Feuchtigkeit ergab unter 5 Schüssen bei durchschnittlicher Anfangsgeschwindigkeit von 848,3 Fuss Unterschiede von 234,3 Fuss; bei einem vergleichenden Schiessen mit trockenen und der atmosphärischen Luft ausgesetzt gewesenen Präparaten ergaben:

30	Gran	feucht gestellte Baumwolle	838,3	Fuss	Anfangsgeschwindigkeit
30	„	trocken „ „	1042,4	„	„
100	„	feucht gestelltes Schiesspulver	1142,8	„	„
100	„	trocken „ „	1193,4	„	„

„Die Baumwolle verliert daher nicht nur viel mehr an Kraft als das Pulver, sondern wirkt noch viel ungleichmässiger als dieses," urteilt der Bericht auf Grund dieser Versuche.

Bei feucht gewordener Schiesswolle bemerkte man sogar oft, dass unverbrannte Teile ausgeworfen wurden oder im Rohr zurückblieben, wobei dann natürlich der Schusseffekt ein durchaus unbefriedigender war; besonders bei Vorderladungsgewehren wurde diese Beobachtung gemacht.[1]) Wir dürfen nicht vergessen, dass selbst durchaus wasserfreie Schiessbaumwolle bei ihrer Explosion ca. 13 % Wasser bildet (vgl. S. 132 u. 160). Besonders bei kalter Witterung und so lange das Rohr nicht warm ge-

[1]) In der ersten Zeit nach dem Bekanntwerden der Schiessbaumwolle gab es freilich Enthusiasten, welche auch diese Beobachtung zu gunsten des Gegenstandes ihrer Begeisterung auslegten. Nach dem ungenannten Verfasser einer bei Lindequist & Schönrock in Halberstadt 1847 erschienenen, den in ihr zitierten Quellen nach etwa im November 1846 geschriebenen Broschüre „Die Schiessbaumwolle, eine vollständige Zusammenstellung aller bisher gemachten Erfahrungen in Bezug auf die Wirkungen, Vorzüge und Bereitung u. s. w." „ist bei der Baumwolle nicht leicht ein Überladen und Platzen der Gewehre möglich, indem die überschüssige Wolle beim Schusse gewöhnlich unverändert, d. h. nicht entzündet, herausgeschleudert wird!" Die Schiesswollladung weiss also genau, wieviel der Lauf vertragen kann, und richtet sich in ihrer Verbrennung danach! — Das Schriftchen giebt überhaupt ein anschauliches Bild davon, was man alles in jenen Tagen von der Schiessbaumwolle erwarten zu dürfen glaubte. Die unter geringem Druck sehr unvollständige Verbrennung der Nitrocellulose macht sie natürlich ungeeignet, in Raketen u. ä. wie festgestampfter Pulversatz durch die Reaktion der ausströmenden Gase zu wirken. Der eben zitierte Verfasser erhofft aber gerade von dieser Verwendung der Schiessbaumwolle nichts Geringeres, als die Herstellung lenkbarer Luftschiffe, — die ja allerdings, wenn überhaupt, von einer Ausnutzung der in starken Explosivstoffen in relativ sehr geringem Raum und Gewicht enthaltenen Energievorräte wohl noch am ehesten zu erwarten ist, aber sicher nicht auf dem von ihm in Aussicht genommenen Wege. Er meint: „Es wäre sogar nicht unmöglich, die Schiessbaumwolle zur Füllung und zugleich zur Leitung des Luftballons zu benutzen, wobei dann allerdings die Füllung mit Wasserstoffgas wegfallen und die Steigung des Ballons durch Verdünnen der Luft bewirkt werden müsste (sogenannte Montgolfièren). Es liesse sich nämlich recht wohl eine biegsame Röhre von irgend einem brennbaren Stoff denken, in welche die Schiesswolle gestopft würde und die nach Belieben verlängert werden könnte, ähnlich einer biegsamen Rakete, einer Zündröhre oder einem Feuerrad. Zündete man nun eine oder mehrere dieser Röhren vorne an, gehörig befestigt an der Gondel unter dem Ballon, der unten offen ist, so würde die beabsichtigte Luftverdünnung hergestellt werden. Mittelst einer Vorrichtung rückte man, je nachdem sie verbrennten, die Röhren, welche ihrer ganzen Länge nach in die Luft hinaushingen oder auch aufgerollt werden könnten, weiter vor. Durch dieses Verbrennen würde aber nicht allein der Ballon zum Steigen gebracht, sondern auch seitwärts getrieben und zwar durch die Rückwirkung (einseitig aufgehobener Seitendruck) des ausströmenden Feuers der verpuffenden Schiesswolle, welche bis zu einem gewissen Grade dem Winde entgegen wirkte und dadurch die Steuerung möglich machte. — Vom Standpunkte der Theorie aus möchte die Möglichkeit derartiger Luftschifffahrt nicht zu bezweifeln sein; die Praxis würde aber, besonders wegen Feuergefährlichkeit, ihre grosse Bedenklichkeit haben, ehe sie die Sache unternähme."

worden ist, schlägt sich ein Teil dieser Wassermenge im Laufinneren einer Schiessbaumwolle verfeuernden Waffe nieder. Bei Hinterladern hat das wenig zu bedeuten; wischt man aber mit in die Laufmündung gestopfter loser Schiesswolle den ganzen Lauf bis zum Ladungsraum aus, so kann natürlich das Schiesspräparat oft in recht feuchtem Zustande unten ankommen. Dieser Übelstand erschien bei den ersten Versuchen, welche die Direktion der französischen Pulverfabriken mit dem neuen Treibmittel anstellte (Ber. d. Akad., 1846, Bd. XXIII, S. 874 ff.), sogar so ernst, dass man die Frage aufwarf, ob nicht der Rückstand des alten Pulvers ein geringeres Übel sei. Beim Übergang zur in Preussen schon eingeführten Hinterladung verschwand er von selbst. Nachdem die Hinterladungsgewehre Metallpatronen und Geschosse mit Pressionsführung, also fast absolut dichten Gasabschluss erhalten, konnte auch eine aus der Luft angezogene Feuchtigkeitsmenge in der Schiessbaumwolle nicht mehr besonders schädlich wirken, und die Feuchtigkeitsanziehung selbst, die in der ersten Zeit der Schiessbaumwolle zweifellos zum teil durch mangelhafte Entsäuerung und leichte Zersetzlichkeit, zum teil durch die allen porösen Körpern anhaftende Eigentümlichkeit, atmosphärische Gase und Dämpfe stark anzuziehen und zu verdichten, verursacht war (vgl. oben S. 148, Fussnote), ist bei den heutigen Nitrocellulosepulvern durch grössere Reinheit des nitrierten Produktes, Gelatinierung und Pressung so weit verringert, dass nur einige porösere Jagdpulver, die zu Schrotschusszwecken dienen, ein Schwanken ihrer Kraftentwickelung je nach der Feuchtigkeit der Atmosphäre zeigen.

Ein Schwanken in der Kraftentwickelung der Treibladungen, also in der Geschwindigkeit der Geschosse, macht sich für die Trefffähigkeit dadurch unangenehm bemerkbar, dass man beim Beschiessen eines stehenden Zieles höher oder tiefer, bezw. bei der Beschiessung eines liegenden Zieles näher oder weiter trifft. Neben dieser „Längenstreuung“ kommt für die Trefffähigkeit natürlich auch die „Breitenstreuung“, das Mass, um welches die Geschosse von der gewollten Flugbahn nach den Seiten abweichen, in Betracht. Um diese Streuung einzuschränken, hat sich schon seit Jahrhunderten die Anbringung von Zügen, spiralartiger Rinnen im Lauf, die dem Geschoss eine Drehung um eine fest bestimmte Trägheitsaxe geben, als bestes Mittel erwiesen. Um das Eindringen des Geschossmaterials in die Züge zu bewirken, verfuhr man bei den Handfeuerwaffen der Mitte unseres Jahrhunderts meistens derart, dass man das Bleigeschoss in ein Stückchen Leder oder einen Lappen einwickelte und mit Gewalt von vorn in den Lauf hineintrieb. Die Umständlichkeit eines solchen Ladens hielt damals noch die Anwendung gezogener Vorderlader in den Armeen in engen Grenzen; wo man jedoch die Schiessbaumwolle

in gezogenen Büchsen und in glattläufigen Gewehren erprobte, erzeugte sie in den ersteren — zweifellos wegen des festeren Abschlusses — stets grössere Geschossgeschwindigkeiten. Leider bemerkte man aber dabei bald, dass derjenige Zweck, welchem die Züge in erster Linie dienen sollten, verloren ging: die heftige Explosion der Schiessbaumwolle liess den Geschossen keine Zeit, den Zügen zu folgen; sie „überriss" sie und trieb sie ohne bestimmte Dehnung und deformiert aus dem Lauf. Auch die Kugeln der glatten Gewehre, die Spielraum in den Rohren hatten, wurden bei der Anwendung von Schiessbaumwolle durch heftige Anschläge an die Laufwände deformiert, so dass sie dann unregelmässigere Flugbahnen nahmen, als wenn Schwarzpulver angewendet worden, und der von der Rückstandslosigkeit für die Präzision erhoffte Vorteil ausblieb. Die mangelhafte Präzision beim Schiessen mit Schiessbaumwolle aus Handfeuerwaffen war die Hauptursache, dass Schönbein's Treibmittel in der Schweiz, wo man auf präzises Gewehrfeuer stets den grössten Wert legte, keine Erfolge hatte. Bei Versuchen, welche der Züricher Kriegsrat im Jahre 1846 machen liess, konnte (nach dem „Nürnberger Korrespondenten" vom 8. November) der beste Schütze mit Schiessbaumwolle auf 250 Fuss Entfernung eine Scheibe nicht treffen, die mit Schwarzpulver auf 1000 Fuss mit Sicherheit getroffen wurde. Ähnliche Erscheinungen traten auch bei der Artillerie ein: zur Führung in Zügen an Geschossen angebrachte Warzen und Leisten wurden fortgerissen, und ausserdem die Wirkung von Hohlgeschossen viel öfter, als beim Pulver, dadurch vereitelt, dass die Schiesswoll-Treibladungen die Geschosse zerschlugen oder derart erschütterten, dass die Sprengladung schon im Rohr zur Explosion kam, wobei dann häufig noch das letztere beschädigt wurde. Noch nachdem die Anwendung der Schiessbaumwolle sehr erhebliche Verbesserungen erfahren, zeigten sich diese Übelstände. Nachdem befriedigende Leistungen der v. Lenk'schen Schiesswollladungen in gezogenen Geschützen die österreichische Regierung bewogen, im Jahre 1862 dreissig Schiesswollbatterieen aufzustellen, erhielt im Mai das in Italien stehende 7. Artillerieregiment 10 davon: 8 vierpfündige und 2 achtpfündige. Bei Schiessübungen, die mit diesen Batterieen auf der Haide von Abiano (in der Nähe von Pordenone) abgehalten wurden, und bei welchen jede 200 Schuss mit Einschluss der Kartätschschüsse abfeuerte, ergaben sich bei 9 Batterieen 9 Rohrkrepierer, von denen jeder eine eine halbe Stunde erfordernde, vor dem Feinde nicht ausführbare Reparatur am Geschütz vor dem Weiterfeuern nötig machte (Darmstädter Allg. Militärztg., S. 175 und 271).

Noch weit bedenklicher aber waren die Einwirkungen, welche Schiessbaumwollladungen unmittelbar und unabhängig von Erhaltung oder Zerstörung der Geschosse auf das Material der Waffen ausübten. Chemische

Einwirkungen wurden zwar festgestellt, jedoch bald als leicht zu verhüten und bei vollständiger Verbrennung der Schiessbaumwolle überhaupt nicht besonders zu befürchten erkannt. Nur bei unvollständiger Verbrennung bildet sich, wie bereits bekannt, Stickoxydgas, welches bei der Berührung mit atmosphärischer Luft höhere Oxyde des Stickstoffs, und bei Hinzutritt von Feuchtigkeit sogar Salpetersäure giebt. Der Herzogl. Braunschweigische Forstrat und Professor Dr. Th. Hartig, den wir bereits als an den ersten Schiessversuchen Otto's mit der Schiessbaumwolle beteiligt kennen (S. 122), erzählt in seinen 1847 in Braunschweig erschienenen „Untersuchungen über den Bestand und die Wirkungen der explosiven Baumwolle", dass er beim Schiessen mit Schiessbaumwolle (der er nur etwa 0,05 ihres Gewichtes an als alkoholischer Brei in ihre Poren eingeführtem Schwarzpulver als „Anfeuerung" beigegeben) aus Büchse und Flinte mit normalen Geschossen zwar durch Anwendung eines Pfropfens von Lakmuspapier zwischen Ladung und Geschoss stets das Entstehen saurer Dämpfe hätte feststellen können, dass aber diese nicht genügt hätten, eine Reaktion hervorzubringen, wenn erst nach dem Schusse Lakmuspapier an einem langen Drahte in den Lauf gehalten worden wäre, oder wenn man die im Laufe zurückgebliebenen Gase von oben durch den Piston auf ein Stück Lakmuspapier geblasen hätte; hingegen wäre sofort eine sehr energische saure Reaktion eingetreten, nachdem er die Geschosse fortgelassen und nur mit Papierpfropfen geschossen. Es wäre also „der grössere Widerstand der Bleiladung von wesentlichem Einfluss auf die Säurebildung." Bei den bei weitem grösseren Widerstand bietenden Geschossen einer bald folgenden Zeit wurde natürlich die Verbrennung der Schiessbaumwolle noch vollständiger und ihr Produkt chemisch noch unschädlicher; freilich empfahl es sich — schon des auch einer Rosthervorrufung fähigen Wasserdampfes wegen — immer, die Waffen möglichst bald nach dem Schiessen zu reinigen, doch war eine solche Reinigung auch bei der Verwendung von Schwarzpulver sehr nützlich und wegen der ungleich grösseren Menge des Rückstandes nur mit weit grösserer Mühe zu bewerkstelligen, so dass die chemischen Einwirkungen der Schiessbaumwolle auf das Material der Waffen bei der Beurteilung des neuen Schiesspräparates nur eine kurze und wenig erhebliche Rolle gespielt haben. Anders war es mit den m e c h a n i s c h e n Einwirkungen. In dieser Hinsicht machten schon die allerersten Schiesswollschützen (vgl. S. 124) traurige Erfahrungen, die sich auch bei allen späteren Versuchen innerhalb vierzig Jahren durch Verluste an totem Material und an Leben und Gesundheit der Beteiligten wiederholt haben; die Geschichte der Schiessbaumwolle als Treibmittel innerhalb des genannten Zeitraumes ist im wesentlichen die Geschichte eines Kampfes gegen die ursprünglich mehr zum Sprengen, als zum

Schiessen geeignete Art ihrer Wirkung, gegen ihre Neigung, in Feuerwaffen höhere Drücke hervorzubringen, als die Läufe auszuhalten vermögen.

Der Druck, den eine gegebene Explosion auf die Wände des Explosionsraumes ausübt, ist natürlich nur von der Grösse dieses Raumes abhängig, und auf die Regelung dieses Verhältnisses zwischen Explosion und Explosionsraum laufen alle Mittel hinaus, welche man einzeln oder kombiniert anwenden kann, um den Druck von Explosionen in Feuerwaffen auf das erfahrungsmässig nicht ohne Nachteile zu überschreitende Mass einzuschränken.[1]) Das Ideal wäre, diese Regelung auf alle Phasen der Geschossbewegung im Lauf zu erstrecken und die Entwickelung der Explosionskraft, entsprechend dem immer schnelleren Fortschreiten des Geschosses und Wachsen des Explosionsraumes, progressiv beschleunigt zu gestalten, so dass ein von Anfang bis zu Ende gleicher „mittlerer" Druck entstände (vgl. S. 14—15). Versuche dieser Art sind beim Schwarzpulver oft gemacht: man versuchte eine progressiv beschleunigte Gasentwickelung teils dadurch zu erreichen, dass eine Vergrösserung der Brennflächen der Ladung während des Abbrennens erstrebt wurde, teils dadurch, dass man die Ladungen aus Schichten verschieden schnell verbrennlichen Pulvers zusammensetzte. Die Vergrösserung der Brennflächen glaubte man namentlich durch Anbringung von Kanälen in gepressten Pulverkörpern zu erreichen: so z. B. bei den prismatischen Pulvern mit mehreren Zehrlöchern im Korn, von denen im ersten Kapitel die Rede war. Es wurde aber dort auch schon erwähnt, dass solche Pulverkörner beim Schuss meistens zerquetscht zu werden pflegten, so dass die erhoffte Regelung der Brennflächen durchaus ausblieb. Man ging dann zu Pulverkörnern mit nur einem Zehrloch über; bei solchen kann aber, wie leicht einzusehen, von progressiv vergrösserten Brennflächen nicht mehr die Rede sein; denn die äussere Mantelfläche des Kornes ist natürlich stets grösser, als die Wandfläche des Zehrloches, und die Vergrösserung der letzteren während des Abbrennens kann mit der Verminderung der ersteren nicht einmal Schritt halten, geschweige denn sie aufheben. Metallpatronen mit Schichten von verschieden stark gepresstem Pulver wandten z. B. Doremus

[1]) Erfahrungsmässig wirken schon Drücke von etwa 4000 Atmosphären auf die Dauer schädlich auf die Festigkeit aller Rohre; bei Waffen mit Metallpatronen entstehen ausserdem oft schon bei etwa 3000 Atmosphären Schwierigkeiten beim Herausziehen der übermässig aufgeweiteten Hülsen. Die Widerstandsfähigkeit der Rohre lässt sich durch blosses Dickermachen der Wandungen nur innerhalb enger Grenzen erhöhen, da das Mass, in welchem die einzelnen Schichten homogenen Rohrmaterials innerem Druck Widerstand leisten, mit deren Entfernung vom Inneren schnell abnimmt. Wirksamere Verstärkungen ergeben auf das Innenrohr in heissem Zustande aufgezogene Mantelrohre (die bei Geschützen heute allgemein übliche „künstliche Metallkonstruktion") oder das namentlich von Longridge empfohlene Umwickeln mit Stahldraht unter steigender Spannung des letzteren.

und Budd an; es zeigte sich aber, dass das Feuer stets vorzeitig an den langsam verbrennlichen Schichten vorbei zu den schneller verbrennlichen zu gelangen wusste. Ähnlich haben auch Versuche, die Verbrennung von Schiesswollladungen im Sinne der Progressivität zu regeln, — die im nächsten Kapitel zu besprechen sein werden, — nie nennenswerte Erfolge gehabt, und man beschränkt sich auch heute, wie in der ersten Periode der Schiessbaumwolle, darauf, den Anfangsdruck, der den Feuerwaffen erfahrungsgemäss am gefährlichsten werden kann,[1]) zu beschränken. Es kann das einfach dadurch geschehen, dass man den anfänglichen Verbrennungsraum von vornherein gross genug macht, oder indem man dafür sorgt, dass die Ladung selbst durch Fortschiebung des Geschosses den Verbrennungsraum vergrössert, bevor zu viel von ihr verbrannt ist. Der Anwendung des erstgenannten Mittels stand lange ein alter Schützenaberglaube, dass es gerade höchst gefährlich sei, den anfänglichen Verbrennungsraum erheblich grösser zu machen, als ihn die Ladung ausfüllen könne, im Wege. Der Ursprung dieses Aberglaubens ist wohl auf die längst verschwundene Meinung, dass mit dem Pulver eingeschlossene atmosphärische Luft dessen Kraftäusserung sehr verstärke,[2]) zurückzuführen; doch glaubte z. B. noch die Kommission, welche vier Jahrzehnte nach der Erfindung der Schiessbaumwolle die Ursachen des Springens eines 58-Tonnen-Vorderladungs-Geschützes auf dem Kriegsschiff „Thunderer" zu untersuchen hatte, auch mit der Möglichkeit, dass das Geschoss nicht vollständig bis auf die Pulverladung ins Rohr geschoben worden, als mit einer möglichen Ursache der Katastrophe rechnen zu müssen, und erst die neuesten Gewehre, deren Patronen vielfach durch die Ladung von rauchschwachen Pulver nicht ganz ausgefüllt werden, haben der Wahrheit, dass eine „Hohlladung" nicht nur nicht gefährlich. sondern im Gegenteil geeignet ist, die Gefahr des Springens von Waffen zu vermindern, zu einem durchgreifenden Siege verholfen. In der ersten Periode der Schiessbaumwolle hat nur ein Schiesstechniker, und auch dieser erst verhältnismässig spät, die Hohlladung anempfohlen. Zuerst versuchte man die Herabsetzung des Druckes auf dem beim Pulver als zum Ziele führend bekannten Wege einer Verlangsamung, und zwar sollte diese Verlangsamung

[1]) Es gilt dies, wie schon im ersten Kapitel hervorgehoben wurde, ganz besonders von den heute fast ausschliesslich in Betracht kommenden gezogenen Hinterladungswaffen mit Pressionsführung des Geschosses. Die Anfangswiderstände sind hier nicht nur stets sehr gross (vgl. S. 15), sondere sie können auch durch geringfügige und nie völlig zu vermeidende Verschiedenheiten in den Abmessungen der Rohre und besonders Geschosse, durch zufällige und unbemerkte Verschmutzung an der entscheidenden Stelle u. s. w. noch so weit über das normale Mass hinaus erhöht werden, dass man dieses normale Mass sicherheitshalber stets weit unterhalb des den Rohren allenfalls noch zuzumutenden zu halten gezwungen ist.

[2]) Vgl. Teil I dieses Werkes, S. 157—158.

zuerst auch durch das beim Pulver wirksame Mittel einer Verdichtung der Schiessbaumwolle erfolgen.

Séguier riet, auf Erfahrungen Piobert's mit dichten Schwarzpulversorten fussend, die Schiessbaumwolle in einem Zustande grösserer Dichte, als ihn die gewöhnliche nitrierte Watte zeigte, anzuwenden. Zu diesem Zwecke nitrierte er nicht lose Baumwolle, sondern baumwollene Gewebe, die dann zu Charpie zerzupft wurden. Diese Charpie und gewöhnliche Schiesswollwatte benutzten Séguier und Clerget zum Schiessen aus Gewehren und Pistolen, wobei die Abplattung der gegen eine Eisenplatte geschossenen Bleikugeln als Mass der Leistungen diente. Bei Schiesswollwatte war die Abplattung stets ungefähr dieselbe, ob die Kugeln aus Gewehr oder Pistole geschossen wurden; die Charpie dagegen zeigte in längeren Rohren erheblich bessere Leistungen, als in kurzen, woraus Séguier mit Recht auf eine langsamere Verbrennung des dichteren Produktes schloss. Dieses verdankte aber seine langsamere Verbrennung nicht sowohl seiner grösseren Dichte, als vielmehr seiner bei dichteren Grundstoffen stets weniger vollständigen Nitration; denn als man später bei den Versuchen der Regierungskommission in Watteform nitrierte Baumwolle durch Spinnen und Weben dichter machte, erfolgte daraus keine merkliche Änderung in Druck und ballistischen Leistungen. Solche Änderungen zeigten sich auch nicht, als man aus der Schiesswollwatte Papiermasse und aus dieser Papier, Pappe und bei Zusatz von 1 % Dextrin sehr feste Körner machte.[1]) Die Körnung war für Gewehre nach Art des preussischen Zündnadelgewehres, in denen die Zündnadel, um zum Zündsatz zu gelangen, erst die Treibladung durchbohren musste und dabei von langfaseriger Schiesswolle oft aufgehalten, abgelenkt oder verbogen wurde, von Vorteil; die Brisanz verminderte sie aber, wie bei den französischen Versuchen festgestellt wurde, nicht. Nach wie vor ereignete es sich, dass Gewehre, die viele Tausende von Schüssen mit Schwarzpulver völlig unbeschädigt ausgehalten, manchmal schon nach wenigen Schüssen mit Schiesswolle sprangen, und keinesfalls mehr als etwa 500 Schiesswollschüsse aushielten. So lange die Schiessbaumwolle ihre organische Struktur, wenn auch unter Zerreissung und Zerquetschung der Fasern, beibehält, ist es nicht möglich, durch Verdichtung ihre Brisanz in einem praktisch wertvollen Masse herabzusetzen, und auch an aus Lösungen

---

[1]) Pelouze und Frémy, Cours de Chimie générale, Bd. III, Paris 1850, S. 285: „On l'a traite comme les chiffons et on a essaye d'en faire du papier à la papeterie d'Écharcon; on en a fait du carton; on l'a reduit en poussière excessivement fine et on l'a grené: il suffit d'en faire une pâte épaisse et de le froisser quelques instants dans les mains pour le voir se transformer complétement en grains de 1 à 2 millim. de diamètre: l'addition d'un centième de dextrine donne à ces grains une résistance assez grande."

als amorphes Pulver ausgefällten Nitrocellulosen hat man bisher kein erheblich verschiedenes Verhalten beobachtet. Der Weg, auf welchem endlich eine genügende Verdichtung erreicht worden ist, findet sich schon in den ersten Monaten nach dem Bekanntwerden der Schiessbaumwolle angedeutet, jedoch leider nicht weiter verfolgt. Dr. Hartig, der Mitarbeiter Otto's, sagt in seiner bereits zitierten Schrift (deren Vorwort bereits im Dezember 1846 geschrieben ist, und die als jüngste Quelle auf S. 12 eine noch im Späteren zu erwähnende Veröffentlichung Schönbein's vom 3. Januar 1847 nennt) auf S. 18—20:

„Wir kennen bereits ausser dem Schiesspulver eine Mehrzahl explodierender Stoffe, wie Knallsilber, Knallquecksilber, Chlor-Stickstoff[1]) etc., die jedoch sämmtlich als Surrogate des Schiesspulvers unbrauchbar sind, indem sich ihre Substanz zu plötzlich und zu rasch in die die Explosion vermittelnden Gase zersetzt, früher und rascher als die Kugel im Laufe aus dem Zustande der Ruhe in den der Bewegung überzugehen und den Lauf zu verlassen vermag, was natürlich eine Sprengung der Gewehrläufe zur Folge haben muss. Das Schiesspulver verpufft mit einer gewissen, für den Gebrauch im Gewehre notwendigen Trägheit, in welcher Eigenschaft die Schiesswolle ihm zwar nahe steht, aber doch nicht ganz gleich kommt, daher Sprengungen bei seiner Verwendung in Gewehren häufiger als beim Gebrauche des Schiesspulvers vorkommen werden. Dies bestätigen die in Herzberg neuerlich angestellten Versuche, wobei Gewehrläufe mit viel geringeren, als den der treibenden Kraft des Pulvers gleichwertigen Mengen von Schiesswolle zersprengt wurden. Ein Probierlauf, der $3^1/_2$ Lot Pulverladung vertrug, ohne zu springen, wurde schon bei 1 Quentchen Schiesswolle gesprengt, eine Menge, die in Bezug auf treibende Kraft nicht voll 1 Lote Pulver gleichwertig ist. Dies ist allerdings ein Übelstand, der sich aber sehr wahrscheinlich durch eine zweckmässige Bereitung des Materials, durch stärkere Kompression der Ladung, vielleicht schon durch Veränderung des Zündkrautes beseitigen lassen wird. Gesponnene oder gar verwebte Fasern, zusammengepresste Wollemengen explodieren viel weniger rasch als lockere Wollenfasern. Bei der Entzündung der Wolleladung durch das Pulver der Pfanne eines Friktionsschlosses erfolgt eine weniger rasche Explosion als bei der Zündung durch das Zündkraut der Perkussionsschlösser, dessen Flamme die ganze Fulminladung rascher durchdringt und entzündet, als dies bei der Entzündung durch Pulver der Fall ist. Allerdings tritt diesen Wegen der Beseitigung rascher Entzündung einerseits der Umstand entgegen, dass jede Verdichtung der Fulmin-Ladung, sie möge durch Druck, durch Verspinnen, Verweben oder durch Behandlung mit Essig-Äther geschehen, mit Verminderung der treibenden Kraft verknüpft ist, andererseits sind die Vorzüge der Perkussions-Zündung, besonders für den Gebrauch des Klein-Gewehres, zu bedeutend, als

[1]) Diese explosive Flüssigkeit ist auch wegen ihrer grossen Zersetzlichkeit bisher immer nur in der Menge von wenigen Tropfen hergestellt worden. (Anm. d. Verf.)

dass sie der Fulmin-Verwendung zum Opfer gebracht werden können. Dennoch dürfte auf dem angedeuteten Wege, in einer oder der anderen Weise, ein günstiges Resultat durch fortgesetzte Versuche zu erreichen sein und die grössere Gefahr der Gewehr-Sprengungen sich beseitigen lassen."

Die Gelatinierung der Nitrocellulose ist in der That der Weg, auf welchem man in neuester Zeit deren übermässige Brisanz gebrochen hat; doch entwickelt sie ihre Vorzüge nur dann in vollem Masse, wenn sie auch von einer Pressung begleitet wird, und an die letztere hat Hartig anscheinend nicht gedacht: er hat schon von verhältnismässig sehr poröser gelatinierter Nitrocellulose eine übermässige Abnahme der Verbrennungsgeschwindigkeit befürchtet. Er sagt nämlich an einer anderen Stelle seiner Broschüre (S. 13—14):

„Merkwürdig ist die Wirkung, welche Essig-Äther auf die Schiessfaser hervorbringt. . . . Ich habe nämlich gefunden, dass die Schiessfaser, in sehr geringer Menge dem Äther beigegeben, mit diesem zu einer leichtflüssigen, in grösserer Menge beigegeben, zu einer steifen, wasserklaren Gallerte aufquillt, ohne ihre chemische Zusammensetzung zu verändern. Trägt man die Gallerte in einer dünnen Schicht auf eine Glastafel, so bleibt nach der Verflüchtigung des Äthers ein schneeweisser Rückstand. Wird letzterer in eine Mengung von $^1/_3$—$^1/_2$ Alkohol mit Wasser gebracht und darin so lange erhalten, bis die anfängliche Entwickelung von Luftblasen aufgehört hat, dann vollkommen abgetrocknet, so zeigt das Präparat in jeder Hinsicht dieselben Eigenschaften, wie die Schiessfaser. Dasselbe ist der Fall, wenn man die Gallerte selbst in verdünnten Alkohol bringt, der den Äther auszieht und das Präparat in einer schwammigen Masse zurücklässt. Der viel kleinere Raum, den dieselbe einnimmt, die Leichtigkeit, womit sie in jeder beliebigen, selbstständig festen Form darstellbar ist, vorzüglich aber die Möglichkeit vollständigen Abschlusses der atmosphärischen Luft im Augenblicke der Verpuffung und der dadurch zu verhindernden Säurebildung, dürfte dem Ätherpräparat auch für die Technik Bedeutung geben, wenn es gelingt, eine wahrscheinlich infolge des veränderten Aggregatzustandes eintretende, allerdings nicht unbedeutende Verminderung der explosiven Kraft zu beseitigen."

Eine „Verminderung der explosiven Kraft" durch die Verdichtung kann nur insofern eintreten, als die Ausnutzung der vom Präparat zu liefernden Arbeit in kurzen Läufen geringer wird, diese Arbeit selbst bleibt natürlich die gleiche, und aus diesem Grunde ist die Verdichtung der Nitrocellulose bei weitem vorteilhafter, als das andere zur Milderung ihrer Brisanz oft versuchte Mittel, die Vermischung — oder, nach Pelouze's treffenden Ausdruck „Verdünnung" — mit anderen, weniger explosiven, unexplosiven, oder selbst ganz unverbrennlichen Stoffen.

Unter den unverbrennlichen Stoffen, die der Schiessbaumwolle beigemischt wurden, finden wir in der ersten Periode nur die Kieselsäure

der v. Lenk'schen Schiesswolle,[1]) die nur in ganz geringen Mengen (höchstens 3 %) und in erster Linie zur Verstopfung der Poren des faserigen Präparates in dieses eingeführt wurde. Später hat man oft Graphit in Mengen bis zu 25 % gemaischter oder gelatinierter Nitrocellulose beigemischt. Diese Beimischungen vermindern natürlich die Einwirkungen der teilweise durch sie ersetzten Schiessbaumwollladungen auf die Waffen um etwas; noch mehr aber setzen sie die Geschossgeschwindigkeiten herab; denn sie tragen nicht nur zur Geschossbewegung nichts bei, sondern sie beanspruchen noch einen Teil der von der Nitrocellulose entwickelten Kraft zu ihrer Hinausschleuderung aus dem Lauf, die natürlich nicht einmal vollständig erfolgt, so dass sich neben Rauch auch Rückstand im Rohr geltend macht.

Die zuletzt genannten Nachteile zeigen sich bei verbrennlichen Zusätzen, die nicht in übermässiger Menge beigesetzt werden, nicht; die Arbeitsverluste sind aber selbst dann bedeutend, wenn man die Schiesswolle nur mit weniger hoch nitrierter Cellulose, der zu diesem Zweck so oft vorgeschlagenen und benutzten „Kollodiumwolle" verdünnt.

Dass solche niedriger nitrierte Cellulose erheblich weniger Kraft entwickelt, als die höchstnitrierte, wurde schon bald nach ihrer Entdeckung bekannt.

Am 9. November 1846 zeigten Florès Domonte und Ménard durch Pelouze der Pariser Akademie an, von ihnen nach Braconnot's Verfahren hergestellte Nitrostärke hätte sich, was bis dahin nicht beobachtet worden, als in Äther löslich erwiesen; sie wollten versuchen und melden, ob dies auch bei der Schiessbaumwolle der Fall wäre (Ber. der Par. Akad. Bd. XXIII, S. 861—862). Payen kam ihnen zuvor, indem er am 30. November meldete, Schiessbaumwolle löse sich in Äther zum teil auf; die ätherische Lösung hinterlasse, im Wasserbade unter + 100° C. abgedampft, ein durchsichtiges, leicht verbrennliches Häutchen (ebend., S. 1000). Am 7. Dezember bestätigten Domonte und Ménard im wesentlichen die Angaben Payen's und setzten hinzu, dass die Auflösung der Schiessbaumwolle bedeutend erleichtert werde, wenn man dem Äther etwas starken (aber nicht absoluten) Alkohol beimische (ebend., S. 1088). Am 14. Dezember meldete Gaudin durch Payen, Schiessbaumwolle, die er auf einen Rat Millon's (ebend., S. 981), um die Herstellung zu vereinfachen, unmittelbar mit einer Mischung von 2 Teilen trockenen Salpeters und 3 Teilen Schwefel-

---

[1]) Die Kieselsäure bleibt selbst in der höheren Verbrennungstemperatur des Nitroglycerins chemisch unverändert und selbst ungeschmolzen. Eine mikroskopische Untersuchung der Explosionsrückstände von Kieselguhr-Dynamit lässt die charakteristischen Formen der fossilen Diatomeenpanzer genau wiedererkennen, wenn sich auch manchmal eine gewisse Zusammensinterung zeigt.

säure nitriert habe, erweise sich stets als besonders leicht und vollständig in Äther löslich (ebend., S. 1099)[1]); doch bilde sich bei jeder Nitration von Cellulose neben in Äther unlöslicher Nitrocellulose auch lösliche. Gaudin hielt die genannten beiden Arten Nitrocellulose noch für isomer; schon am 3. Januar des folgenden Jahres veröffentlichten aber Schönbein und Böttger die (auch in Poggendorff's Annalen, Bd. LXX, S. 320 ff. abgedruckte) Erklärung, ihre Schiessbaumwolle sei in Ätheralkohol nur sehr wenig löslich und zeige einen Stickstoffgehalt von über 14 %. Da man nun in den in Ätheralkohol ganz oder zu grossem Teil löslichen Produkten nie einen so hohen Stickstoffgehalt gefunden, so stand etwa seit dem Anfang des Jahres 1847 die Existenz hochnitrierter, in Ätheralkohol unlöslicher, und niedriger nitrierter, in Ätheralkohol löslicher Nitrocellulose fest. Die letztere stellte man, der erkannten Ursache ihrer Verschiedenheit von höchstnitrierter Cellulose gemäss, ausser nach dem Gaudin'schen Verfahren auch durch absichtliche Herbeiführung derjenigen Umstände bei der Nitration her, welche man schon bei den ersten Versuchen der Schiesswollbereitung als dem Erzielen eines stark explosiven Präparates hinderlich erkannt, also durch Operieren bei höherer Temperatur und schwächerer Säure. Während die Löslichkeit auch der höchstnitrierten Schiesswolle in geeigneten Lösungsmitteln Jahrzehnte lang unbenutzt blieb, erlangte die ätheralkoholische Lösung der schwächer nitrierten Cellulose namentlich auf verschiedenen durchaus friedlichen Gebieten bald eine derartige technische Bedeutung, dass man noch heute die in Ätheralkohol lösliche Nitrocellulose oft schlechthin als die „lösliche" bezeichnet.[2])

---

[1]) Dass sich beim Zusammenbringen von Schwefelsäure und Salpeter erst in Gegenwart der Cellulose stets nur niedrig nitrierte Cellulose bildet, durfte, wie schon im Früheren (S. 93) berührt, hauptsächlich der dann entstehenden hohen Temperatur zuzuschreiben sein; auf die Gründe, aus denen auch ein abgekühltes Gemisch von Schwefelsäure und Salpeter immer zur Erzeugung von Kollodium-Nitrocellulosen neigt, wird eine bald zu erwähnende Beobachtung Eder's ein Licht werfen.

Es wäre ein ökonomischer Vorteil, wenn man bei dem Millon-Gaudin'schen Verfahren anstatt des Kalisalpeters den weit billigeren Natronsalpeter (vgl. S. 66) verwenden könnte. Schon Gaudin hat aber gefunden, dass dies nicht angängig ist. Die Wassermenge, welche das hygroskopische Salz, wenn gut getrocknet und gleich verwendet, in die Nitriermischung einbringen kann, ist gewiss nur äusserst gering; wie schädlich aber schon ganz geringe Wassermengen auf die Nitration einwirken können, ist aus den dahin gehenden Versuchen Vieille's (S. 158—159) bekannt.

[2]) Will man absolut genau sein, so darf man auch nur von unter den gewöhnlichen Temperaturumständen in Ätheralkohol löslichen oder unlöslichen Nitrocellulosen sprechen; denn nach neueren Untersuchungen vermag die Anwendung grosser Temperaturveränderungen auch bei der Schiessbaumwolle die Löslichkeitsverhältnisse sehr zu modifizieren. In dem grossen „Cordite-Prozess", der sich in den letzten Jahren vor den Londoner Gerichten

Der Baseler Arzt Jung kam auf den Gedanken, das nach dem Verdampfen des Äthers aus der Schiessbaumwolllösung zurückbleibende feste, biegsame Häutchen von nur schwach explosivem Pyroxylin zur luftdichten Bedeckung wunder Stellen am menschlichen Körper zu verwenden (Ber. der naturf. Ges. zu Basel, Bd. VIII, S. 74); zu diesem Zwecke verschaffte sich die zuerst als „Liquor aethereus adstringens", dann, nach dem griechischen Worte für „leimartig", als „Kollodium" bezeichnete Flüssigkeit weite Verbreitung, die noch wuchs, nachdem Le Gray im Jahre 1850 das bis dahin für die photographischen Negativ-Glasplatten gebräuchliche Eiweisshäutchen durch die Verwendung von Kollodium ersetzt. Zum Schiessen hat die Kollodiumwolle anscheinend zuerst Gaudin benutzt und gefunden, dass sie verhältnismässig starken Rückstand liess (Ber. der Par. Akad., Bd. XXIII, S. 1118); kurz darauf, im Anfang des Jahres 1847 wies Payen, — der allerdings die lösliche Schiesswolle noch lange als ein einem Gehalt der Nitriersäure an Untersalpetersäure sein Entstehen verdankendes Produkt, für eine „cellulose hypoazotique" im Gegensatz zur stärker explosiven „cellulose azotique" hielt, — nach, dass dieses Produkt auch ballistisch erheblich weniger leistete (ebend., Bd. XXIV, S. 85 ff.). Während z. B. 2 Gramm möglichst hoch nitrierter Schiesswolle einer 25,8 Gramm schweren Kugel eine Anfangsgeschwindigkeit von 355,51 Metern gaben, ergaben gleiche Ladungen eines in Ätheralkohol löslichen Pyroxylins, das man durch Nitration von Baumwolle mit Dämpfen des Säurengemisches hergestellt, nur Anfangsgeschwindigkeiten von 77,11 bis 112,05 Metern. Mit flüssiger Säure kann man allerdings weit höher nitrierte Kollodiumwollen herstellen; wie erheblich aber auch solche die potentielle Energie mit ihnen verdünnten Schiesswollen herabsetzen, darüber giebt die bereits (S. 136) erwähnte lehrreiche Arbeit des k. und k. Oberstlieutenants, jetzt Obersten v. Wuich über die Berechnung der Verbrennungstemperatur von Explosivstoffen (im II. Heft des Jahrgangs 1891 der „Mitth. über Gegenst. d. Artill.- u. Genie-Wesens") vorzüglichen Aufschluss.

Oberst v. Wuich betrachtet mit Recht die früher für verschiedene Explosivstoffe aus deren Wärmeentwickelung errechneten Flammentemperaturen für weit übertrieben, da bei diesen Berechnungen stets die durch neuere Forschungen völlig ausgeschlossene Annahme stattfand, dass die specifische Wärme von Gasen von deren Temperatur unabhängig sei, dass also z. B., um die Temperatur einer gegebenen Gasmenge von

---

abspielte, und der noch im Späteren zu erwähnen sein wird, gab W. Macnab an, Schiesswolle; die sich sonst in Ätheralkohol unlöslich gezeigt, habe Gelatine ergeben, nachdem er sie mit dem Lösungsmittel durch Anwendung flüssiger Kohlensäure auf — 50° C. abgekühlt und dann unmittelbar auf + 60° erwärmt (vgl. Guttmann, Die Industrie der Explosivstoffe, Braunschweig 1894, S. 667).

$+1000^0$ auf $+1001^0$ zu erhöhen, dieselbe Wärmemenge nötig sei, die die Temperatur von 0^0 auf $+1^0$ erhöhe (vgl. auch Berthelot a. a. O., Bd. I, S. 42—46). E. Wiedemann hat die specifischen Wärmen von Kohlensäure bei Temperaturen bis zu $+200^0$ C. beobachtet, und gefunden, dass sie bei jedem Grad Temperaturerhöhung um etwa 0,000155 fallen. Diese Zahl hat v. Wuich in die Gleichung:

$$\text{Flammentemperatur} = \frac{\text{Entwickelte Wärmemenge}}{\text{Specifische Wärme der Produkte}}$$

eingeführt, und so z. B. für Schwarzpulver, Schiesswolle und Nitroglycerin die zweifellos alle früheren an Zuverlässigkeit weit übertreffenden Temperaturen von ca. 2000, 2500 und 3000⁰ C. erhalten. Zuvor mussten aber natürlich auch die entwickelten Wärmemengen möglichst genau bestimmt werden. Die Ergebnisse der zu diesem Zwecke vom k. und k. Major im Artilleriestabe Johann Schwab angestellten Untersuchungen, welche drei Kombinationen von höchstnitrierter Schiessbaumwolle mit 11,11 % Stickstoff enthaltender Kollodiumwolle (I—III), reine höchstnitrierte Schiessbaumwolle (IV), aus Kollodiumwolle und Nitroglycerin hergestelltes Nobel'sches „Ballistit" (V) und reines Nitroglycerin (VI) betrafen, zeigt die folgende Tabelle.

Mischungsbestandteile des Explosivstoffes:	I	II	III	IV	V	VI
Kollodiumwolle	62,92	45,90	29,78	.	49,97	.
Höchstnitrierte Schiesswolle	37,08	54,10	70,22	100,00	.	.
Nitroglycerin	.	.	.	.	50,03	100,00
Elementarbestandteile:						
Kohlenstoff	26,97	26,23	25,53	24,24	22,21	15,86
Wasserstoff	2,87	2,73	2,60	2,36	2,69	2,20
Sauerstoff	57,92	58,29	58,63	59,26	60,29	63,44
Stickstoff	12,24	12,75	13,24	14,14	14,81	18,50
Explosionsprodukte;						
Kohlensäure	.	4,0	10,5	22,2	25,2	58,2
Kohlenoxydgas	61,2	58,7	52,9	42,4	35,8	.
Wasserdampf	25,8	24,6	23,4	21,2	24,2	19,8
Stickstoff	12,2	12,7	13,2	14,2	14,8	18,5
Kohlenstoff	0,8	.	.	.	.	.
Sauerstoff	.	.	.	.	.	3,5
Wärmeergebnis	834	862	914	1010	1133	1427

(Überall ist Verbrennung unter einem Druck angenommen, der eine vollständige, das Maximum an Wärme entwickelnde Verbrennung gestattet: diese erfolgt dann den Gesetzen der Thermochemie und Erfahrungsergebnissen gemäss derart, dass sich aller Sauerstoff vom Stickstoff trennt

und zunächst allen noch unexplodierten Wasserstoff, und dann die Kohle verbrennt; ist seine Menge grösser, als zur Verbrennung der letzteren zu Kohlenoxydgas erforderlich, so entsteht zum teil Kohlensäure; im entgegengesetzten Falle bleibt unverbrannte Kohle übrig. Die Bestandteile der Explosivstoffe und ihrer Explosionsprodukte sind in Gewichtsprocenten, die Wärmeergebnisse für 1 Kilogramm Explosivstoff in Kilogrammcalorieen angegeben.)

Vergleicht man in I—IV die stets das Mass der Nitrierung gebenden Differenzen im Stickstoffgehalt der Präparate und die Unterschiede in den Wärmeergebnissen, so zeigt sich, dass innerhalb der hier in Betracht kommenden Grenzen jedem Procent Stickstoff weniger ein mehr als zehnprocentiger Verlust an Wärme, also auch an Arbeit, entspricht.

Anhänger der Verwendung kollodiumwollhaltiger Treibmittel haben in neuerer Zeit namentlich unter Berufung auf die Entdeckungen J. M. Eder's behauptet, es sei unstatthaft, in „Kollodiumwolle" immer nur zwei Drittel der höchstnitrierte Schiesswolle ergebenden Nitration, also etwa 11,11 % N zu vermuten; es gäbe vielmehr Kollodiumwollen, die in der Nitrationshöhe höchstnitrierter Schiesswolle nicht erheblich nachständen. Allerdings hat Eder nachgewiesen, dass unter bestimmten Umständen stattfindende Nitration auch eine mehr als 11,11 % Stickstoff enthaltende Kollodiumwolle ergeben kann; die stickstoffreichste Kollodiumwolle besitzt aber nach seinen Untersuchungen auch nur einen Stickstoffgehalt von 12,75 % (gegen 14,14 % in der höchstnitrierten Cellulose) und bildet sich nie auch nur annähernd rein, so dass es nach wie vor den thatsächlichen Nitrationsverhältnissen entspricht, durchschnittliche Kollodiumwolle unter der Voraussetzung, dass Cellulose einfach $C_6H_{10}O_5$ und ihr höchstes Nitrationsprodukt Trinitrocellulose ist, als Dinitrocellulose, oder richtiger unter der nach Eder's Ermittelungen notwendigen Verdoppelung der Cellulose-Formel als Tetranitrocellulose im Gegensatz zur höchstnitrierten Hexanitrocellulose zu bezeichnen.

Eder's schon mehrfach berührte Forschungen sind für die Chemie der Schiessbaumwolle so wertvoll, und ihre Kenntnis wird das Verständnis des Späteren vielfach so erleichtern, dass es nützlich sein wird, hier auf sie ausführlicher einzugehen.

Wie sehr die chemische Erforschung der unveränderten Nitrocellulose gegen die ihrer Zersetzung zurückblieb, wie verschiedene Mengen der Bestandteile im Laufe der auf die Erfindung der Schiessbaumwolle folgenden drei Jahrzehnte verschiedene Forscher in den analysierten Pyroxylinen fanden, und welche Formeln sie demzufolge aufstellen zu dürfen glaubten, zeigt folgende Zusammenstellung, in welcher der besseren Übersicht halber die alten Äquivalentformeln in neue (O = 16) umgerechnet sind:

Schönbein und Böttger . . .	$C_9H_{12}N_4O_{13}$	
Pelouze	$C_{24}H_{34}O_{17}(N_2O_5)_5$	
Schmidt und Hecker.	$C_{24}H_{32}O_{21}(NO_2)_{10}$	
Peligot	$C_{12}H_{18}O_{12}(NO_2)_6$	
v. Kerkhoff und Reuter. . . .	$C_{24}H_{28}O_{19}(NO_2)_{12}$	
Porret und Teschenmacher . .	$C_{12}H_{16}O_{10}(NO_2)_4$	[1]
Gladestone; Pelouze und Maurey; Champion und Pellet. . . .	$C_{12}H_{15}O_{10}(NO_2)_5$	[2]
Walter Crum, Gerhardt, Schrötter, Schneider, Redtenbacher, Abel	$C_{12}H_{14}O_{10}(NO_2)_6$	[3]
Hadow	$C_{16}H_{21}O_{15}(NO_2)_9$	[4]
	$C_{16}H_{22}O_{15}(NO_2)_8$	[5]
	$C_{16}H_{23}O_{15}(NO_2)_7$	[6]
Fehling	$C_{12}H_{20}O_{14}(N_2O_5)_2$	
Ransome.	$C_{12}H_{16}O_{10}(N_2O_5)_2$	
Béchamp	$C_{12}H_{17}O_{10}(NO_2)_3$	[7]
	$C_{12}H_{16}O_{10}(NO_2)_4$	[8]
	$C_{12}H_{15}O_{10}(NO_2)_5$	[9]
Wolfram.	$C_{12}H_{18}O_{10}(NO_2)_2$	[10]
	$C_{12}H_{17}O_{10}(NO_2)_3$	[11]
	$C_{12}H_{16}O_{10}(NO_2)_4$	[12]
	$C_{12}H_{15}O_{10}(NO_2)_5$	[13]

Die grosse Verschiedenheit der Ergebnisse selbst für das noch am leichtesten in annähernder Reinheit darzustellende stickstoffreichste, in Ätheralkohol unlösliche Pyroxylin erklärt sich wohl in erster Linie aus der begreiflichen Schwierigkeit, mit starken Sprengstoffen Verbrennungs-Elementaranalysen auszuführen. Hält man fest, dass sich die Nitrocellulose stets durch einfache Substitution durch NO_3 im Cellulosemolekül bildet,

---

[1]) Für Kollodion-Pyroxylin.

[2]) Für die eigentliche, in Alkoholäther unlösliche Schiessbaumwolle; auch Wolfram stellte dieselbe Formel auf.

[3]) Für Schiessbaumwolle; differiert von der vorhergehenden um 1 Mol. NO_2.

[4]) Unlöslich in Alkoholäther und Eisessig.

[5]) Löslich in Alkoholäther und unlöslich in Eisessig.

[6]) Löslich in Alkoholäther und in Eisessig.

[7]) Durch Behandlung von Kollodion mit Kaliumhydroxyd.

[8]) Durch Behandlung von Kollodion mit Ammoniak.

[9]) Für Schiessbaumwolle (löslich in Alkoholäther oder nicht?).

[10]) Durch Behandlung von Kollodion mit KOH oder NH_3.

[11]) Entsteht wie das Vorige. Ein Bestandteil der Kollodionwolle.

[12]) Ein Bestandteil der Kollodionwolle.

[13]) Eigentliche, in Alkoholäther unlösliche Schiessbaumwolle.

dass sich in ihr stets nur der Kern der Cellulose und der Kern der Salpetersäure findet, so bedarf es natürlich nur einer Bestimmung des im Präparat enthaltenen Stickstoffes, um die übrigen Elemente mit Sicherheit zu berechnen; einerseits waren aber vor Eder nur wenige Forscher des Charakters der Schiessbaumwolle als einfacher Salpetersäure-Äther genügend sicher, um auf die Elementaranalyse verzichten zu wollen, andererseits waren die alten Methoden, den Stickstoff zu bestimmen, oft wenig genau, so dass auch die die richtige Konstitution annehmenden Formeln meistens empirisch sehr unrichtig waren.

Zunächst stellte Eder durch die bereits (S. 75) genannten Kennzeichen den Charakter der Schiessbaumwolle als Salpetersäureäther der Cellulose fest.[1]) Dann ging er zur Stickstoffbestimmung in folgender Weise vor:

Ein etwa 150 kbcm fassendes Kölbchen war mittelst eines durchbohrten Kautschukstöpsels verschlossen, dessen Bohrung ein nach abwärts gebogenes Gasentbindungsrohr hielt. Das Rohr war in der Mitte entzwei geschnitten und durch einen Kautschukschlauch wieder verbunden, und konnte durch Zusammendrücken des Schlauches leicht verschlossen werden. Das Kölbchen wurde zur Hälfte mit reinem Wasser gefüllt, das getrocknete Pyroxylin (0,2 bis 0,3 g) eingetragen und so lange erhitzt, bis nur wenig Wasser im Kölbchen enthalten und die Luft durch den ununterbrochen ausströmenden Dampf vertrieben war. Während noch die Wasserdämpfe aus dem Rohre heftig entwichen, wurde die Rohrmündung in eine gesättigte Lösung von Eisenvitriol und Salzsäure getaucht. (Die Lösung war durch Übergiessen des reinen Eisenvitriols mit wenig Wasser, Hinzufügung konzentrierter Salzsäure und Sättigung mit dem Eisensalze bereitet; verdünnte salzsaure Eisenvitriollösungen zersetzen das Pyroxylin nur langsam). Nachdem die Flamme unter dem Kölbchen entfernt worden, sog das durch Kondensation des Wasserdampfes entstehende Vakuum die Eisenlösung in das Kölbchen ein, was durch Zusammendrücken des Kautschukschlauches mit den Fingern geregelt und, sobald etwa der dritte Teil des Kölbchens gefüllt war, unterbrochen wurde. Schliesslich liess Eder etwas reines Wasser zum Nachspülen eintreten; das Miteintreten von Luftblasen wurde vermieden. Dann wurde wieder erhitzt, und das ent-

[1]) Dem Einwurf gegenüber, dass sich bei der Einwirkung von Alkalien auf Pyroxylin neben den salpetersauren Salzen auch geringe Mengen von Nitriten bilden, bemerkt Eder mit Recht, dass auch andere organische Salpetersäureäther, wie z. B. derjenige des Glycerins, bei der Zersetzung mit Alkalien etwas salpetrigsaures Salz geben, ohne dass deshalb an ihrem Charakter als NO_3-Verbindung gezweifelt würde. Als Grund des Erscheinens von Nitriten bei der bezeichneten Zersetzung sieht Eder sekundäre Zersetzungsvorgänge an, die allerdings namentlich bei der Anwendung konzentrierter Ätzlaugen in bedeutendem Masse zu bemerken sind; ausserdem können aber aus nicht absolut reinen Materialien hergestellte Salpetersäureäther stets auch Spuren von NO_2-Verbindungen als mitnitrierten Fremdstoffen enthalten.

weichende Gas in einer mit starker Natronlauge gefüllten, etwa 100 kbcm fassenden Messröhre gesammelt. Das Gasvolumen wurde auf 0° C. und 760 mm Barometerstand reduziert. Die Anzahl der Kubikcentimeter Stickoxydgas ergiebt, wie schon erwähnt, mit 0,62693 multipliziert, die Anzahl der Milligramme Stickstoff.

Diese Stickstoffbestimmungsmethode ist einer ähnlichen von Champion und Pellet, nach welcher in einem ähnlichen Apparate das Pyroxylin vor dem Einsaugenlassen von Salzsäure und Schwefelsäure mit einer neutralen Lösung von schwefelsaurem Eisenoxydulammoniak gekocht wird, bei weitem vorzuziehen; denn sie schliesst eine bei dem Champion-Pellet'schen Verfahren nicht ausgeschlossene Zersetzung der Nitrocellulose vor der Analyse aus; beim Kochen mit reinem Wasser hat Eder nie eine Spur von entweichenden Zersetzungsprodukten entdeckt. Bei mehreren Analysen derselben Schiessbaumwolle ergaben sich nie grössere Differenzen in den Resultaten, als 0,1 bis 0,2 %, was einen sehr hohen Grad von Genauigkeit anzeigt, namentlich, wenn man berücksichtigt, dass selbst beim Nitrieren sehr geringer Mengen Cellulose auf einmal absolut gleiche Nitration in allen Teilchen nicht zu erzielen ist.

Die oben geschilderten Operationen waren rasch auszuführen: an einem Tage konnten 4 bis 5 Analysen vollendet werden. Viel mehr Zeit nahm die Vorbereitung der Schiessbaumwolle zur Analyse in Anspruch. Das lufttrockene Pyroxylin wurde durch 5 bis 8 Tage im Vakuum über Schwefelsäure getrocknet, in welcher Zeit es ohne alle Zersetzung seinen Feuchtigkeitsgehalt verlor, so dass längeres Trocknen keine Gewichtsabnahme mehr bewirkte. Vollständig entsäuertes Pyroxylin kann auch durch scharfes Trocknen bei 100° C. während mehrerer Stunden ohne Zersetzung entwässert werden; Eder zog die langsame Trocknung bei gewöhnlicher Temperatur vor, weil schon ein sehr geringer Säuregehalt bei 100° C. im Pyroxylin das Auftreten von sauren Dämpfen und Sauerwerden des Präparates bewirkt, und namentlich bei pulverförmigen (durch schnelles Mengen und Rühren einer Lösung mit Wasser gefällten) Pyroxylinen. die sich auch bei der beabsichtigten Zersetzung mit dem Eisensalz am empfindlichsten zeigten, mitunter eine Bräunung eintrat und dann 0,3 bis 0,5 Procent Stickstoff weniger zu finden war.[1])

Den Aschengehalt seiner aus ganz reiner, weisser, gebleichter und entfetteter Baumwolle hergestellten Pyroxyline bestimmte Eder durch

[1]) Die schnellere Zersetzung der pulverförmigen Pyroxyline durch die Eisensalzlösung ist wohl nur dem durch diese Form bewirkten leichteren Eindringen der lösenden Flüssigkeit zuzuschreiben; dass sich die Pyroxyline in Mehlform auch beim Erhitzen an der Luft empfindlicher zeigten, dürfte nach dem schon auf S. 148 über poröse und fein zerteilte Körper Gesagten nicht befremden.

mehrstündiges Digerieren mit mässig konzentrierter Salpetersäure (von ca. 1,4 spec. Gew.) am Wasserbade in bedecktem Tiegel und allmähliches Erhitzen bis zum Glühen; es fanden sich im Mittel 0,1 $^0/_0$, und nie über 0,15 $^0/_0$ Asche.

Nach dem von Eder geführten Nachweis der Existenz wenigstens einer Zwischenstufe zwischen der früher meistens als „Trinitrocellulose" bezeichneten höchst explosiven Schiessbaumwolle und der Kollodiumwolle oder der „Dinitrocellulose" war die frühere Formel $C_6H_{10}O_5$ wenigstens zu verdoppeln und das höchstnitrierte Pyroxylin als Hexanitrocellulose, oder, da sie ja kein eigentlicher Nitrokörper, noch besser als „Cellulosehexanitrat" zu bezeichnen. Im Ganzen hat Eder fünf deutlich unterschiedene Pyroxyline beschrieben:

Cellulosehexanitrat, $C_{12}H_{14}O_4(NO_3)_6$, rein mit 14,14$^0/_0$ N. Eigentliche Schiessbaumwolle. — Zur Herstellung kann man Salpetersäure und Schwefelsäure in verschiedenem Verhältnisse nehmen. Crum mischte 3 Vol. Salpetersäure (d = 1,517) und 1 Vol. Schwefelsäure (d = 1,84) und erhielt nahezu reines Hexanitrat. v. Lenk und Abel wenden einen Überschuss von Schwefelsäure an. Auch Eder's Versuche führten ihn zu demselben Resultate: er setzte mindestens das doppelte Volumen Schwefelsäure der Salpetersäure zu und blieb bei folgendem Verfahren stehen.

Die Baumwolle wird bei 100^0 C. getrocknet und nach dem Erkalten in ein auf etwa 10^0 C. abgekühltes Gemenge von 3 Vol. konzentrierter reiner Schwefelsäure (d = 1,845) und 1 Vol. Salpetersäure (d = 1,5) getaucht; es wird nur soviel Wolle eingetragen, als sich bequem und vollständig in das Säuregemisch eintauchen lässt. Unter öfterem Umrühren und Kneten mit Glasstäben lässt man die Säuren durch 24 Stunden einwirken. Dann wird das Pyroxylin herausgenommen, ausgedrückt, in sehr viel Wasser geworfen und rasch unter Drücken gewaschen, bis sich der Ballen nicht mehr heiss anfühlt. Schliesslich wird es durch mehrere Tage in häufig gewechseltem Wasser, schliesslich in heissem Wasser gewaschen.

Es werden aus 100 Gewichtsteilen Baumwolle 175 bis 180 Gewichtsteile Pyroxylin erhalten. Eine geringe Menge organischer Substanz bleibt in der klaren Salpeterschwefelsäure gelöst; denn diese entwickelt beim Erhitzen etwas salpetrige Dämpfe und bräunt sich und enthält geringe Mengen von Oxalsäure, welche sich aus der verdünnten mit Bariumnitrat gefällten Säure nach dem Abstumpfen mit Ammoniak nachweisen lässt (durch Zusatz von Ca Cl_2).

Diese Schiessbaumwolle enthält immer noch in Ätheralkohol lösliche Pyroxyline von geringerem Salpetersäuregehalt, welche durch ein- bis zweitägige Digestion mit einem mehrmals gewechselten Gemenge von

3 Teilen Äther und 1 Teil Alkohol (95°) zum grossen Teil entfernt werden können. Der Ätheralkohol lässt auf Zusatz einer grossen Menge Wasser das gelöste Pyroxylin flockig ausfallen (s. u.). Solche lösliche Pyroxyline fand Eder in variablen Mengen von 1,2 bis 5,8 Procent in der nach dem beschriebenen Verfahren dargestellten Schiessbaumwolle vor.[1]) Ein zu grosser Zusatz von Alkohol zum Äther bewirkt die unvollständigere Extraktion der niedrigeren Cellulosenitrate; so zieht z. B. ein Gemenge von 1 Teil Äther und 2 Teilen Alkohol schon sehr wenig Lösliches aus, eine Erscheinung, welche in dem Verhalten der einzelnen Cellulosenitrate ihre Erklärung findet. Dem Cellulosehexanitrat ist nämlich mehr oder weniger Pentanitrat nebst Tetranitrat beigemengt, welche durch Ätheralkohol ausgezogen werden können. Eine mehrtägige Digestion ist zur Entfernung der löslichen Bestandteile notwendig.

Das derart gereinigte Cellulosehexanitrat enthält nach einstündigem Erhitzen auf 100° C. und folgendem Trocknen im Vakuum über Schwefelsäure eine Stickstoffmenge, welche mit der berechneten procentualen Zusammensetzung befriedigend übereinstimmt. Die in folgende Tabelle mit einbezogenen Kohlenstoff- und Wasserstoffbestimmungen in der Schiessbaumwolle, welche von anderen Chemikern vorgenommen wurden, stützen Eder's Befund:

	a. Redtenbacher, Schrötter, Schneider	b. Pelouze und Maurey	c.	d.	e.	f.
			Von Eder	vorgenommene	Analysen	
C	24,35	25,00	24,41	—	—	—
H	2,65	3,13	2,64	—	—	—
N	—	—	—	13,82	13,91	13,74

Vergleicht man diese Zahlen mit der berechneten Zusammensetzung:

C	24,24
H	2,35
N	14,14,

so erscheint die beschriebene Verbindung wirklich als Cellulosehexanitrat und kann nicht mit Cellulosepentanitrat verwechselt werden.

Das nach obiger Methode dargestellte Cellulosehexanitrat hat die Struktur der Baumwolle und zeichnet sich vor den anderen Pyroxylinen durch seine leichte Entzündlichkeit und seine Explosivität (wenn es auch durch Schlag und Stoss nur schwer zur Detonation zu bringen ist), seine

[1]) Abel fand einmal den Gehalt an löslichem Pyroxylin von 1 bis 1,5 Proc. (Dingl. Polyt. Journ. Bd. 185, S. 154, 157), und in käuflicher Schiessbaumwolle stieg der Gehalt an löslichem Pyroxylin sogar bis 12 Proc. (Jahrber. der reinen Chemie 1876, S. 156).

Unlöslichkeit in Äther, absolutem Alkohol, Ätheralkohol, Eisessig, Methylalkohol aus. Essigäther, — den zuerst Schönbein und Böttger (Allg. Ztg. vom 3. Januar 1847) und unabhängig von ihnen Richier (Sitzung der Par. Akad. vom 4. Januar 1847, Ber. Bd. XXIV, S. 4) als vollständig lösendes Mittel für in Ätheralkohol unlösliche Schiessbaumwolle nennen, — löst das reine Hexanitrat nicht, weder in der Kälte, noch in der Wärme, auch nach Zusatz von etwas Äther nicht; höchstens quillt die Faser etwas auf, ohne die Struktur zu verlieren. Schon im Anfange des Jahres 1847 hat Payen beobachtet, dass sich gerade sehr stark explosive Schiesswolle manchmal nur zu einem Fünftel ihrer Gesammtmenge in Essigäther löst; gleichzeitig allerdings auch, dass die Mischung solcher (nach den Untersuchungen Eder's als Gemisch von Hexa- und Pentanitrocellulose anzusehenden) Schiesswolle mit Essigäther stark gerührt und erhitzt durchsichtig wird und wie eine homogene Lösung erscheint, in der man erst nach dem Absitzen stark aufgequollene, aber ungelöste Schiesswolle entdeckt (Ber. d. Par. Akad. Bd. XXIV, S. 86). Daher kann man, wie heute in vielen Fabriken zur Herstellung rauchschwacher Pulver geschieht, pentanitrathaltige Hexanitrocellulose durch Kneten und Erwärmen mit Essigäther zu durchsichtiger Gelatine verarbeiten; mit reiner Hexanitrocellulose gelingt das nicht. Dagegen quillt das Hexanitrat in Aceton[1]) stark auf und bildet eine durchsichtige Gallerte, welche bei einem grossen Überschusse von Aceton allmählich in eine Lösung übergeht.

Die Entzündungstemperatur liegt bei 160° bis 170° C.

Erst bei tagelangem Erhitzen des Hexanitrates auf 100° C. in einer lose verschlossenen Eprouvette konnte Eder eine Gelbfärbung bemerken; zugleich war eine geringe Menge Salpetersäure und Untersalpetersäure entwichen. Ist das Hexanitrat schlecht gewaschen, enthält es nur eine Spur freier Säure, so reagiert es schon nach einstündigem Erhitzen auf 100° C. stark sauer und riecht nach Untersalpetersäure. Die mit Ätheralkohol gewaschene Schiessbaumwolle zeigt diese Eigenschaft selten; ganz haltbar ist nur eine mit schwach alkalischem Waschwasser digerierte, dann mit reinem Wasser gewaschene Schiessbaumwolle, welche auch nach jahrelangem Aufbewahren ihre neutrale Reaktion behält.

Wird Cellulosehexanitrat mit einem der unten angeführten verdünnten warmen Gemenge von Salpetersäure und Schwefelsäure behandelt (wie man sie zur Darstellung von Kollodiumwolle verwendet), so geht es in ein stickstoffärmeres in Ätheralkohol lösliches Pyroxylin über.

Bemerkenswert ist es, dass auch Eder mit Gemengen von Kalisalpeter

[1]) Dieses Lösungsmittel für in Ätheralkohol unlösliches Pyroxylin nennt zuerst de Vrij (Brief an Pelouze, von diesem am 4. Januar 1847 in der Akademie vorgelesen, Ber. Bd. XXIV, S. 20).

und Schwefelsäure, die sich zur Kollodiumwollbereitung ganz gut eignen, unter keinen Umständen Cellulosehexanitrat erhielt. Derartige Gemengen zeigen immer die Neigung, Kollodiumpyroxyline (d. i. Pentanitrat und Tetranitrat) zu geben. Schwer erhält man damit in Alkoholäther unlösliche Pyroxyline, selbst bei Anwendung von ganz konzentrierter Schwefelsäure. Es gab wohl z. B. ein Gemenge von 40 kbcm konzentrierter Schwefelsäure mit 25 g trockenem Kalisalpeter bei 40° bis 45° C. ein in Ätheralkohol unlösliches Pyroxylin, welches aber nach der Extraktion mit Ätheralkohol dennoch keinen höheren Stickstoffgehalt als 12,94 Procent enthielt; es scheint Eder, dass trotz der 24stündigen Digestion die Faser im Inneren nicht genügend verändert wurde, weil das Gemenge von Kalisalpeter und Schwefelsäure nur schwer die Baumwolle durchdringt. In der That lässt der ermittelte Stickstoffgehalt von 12,94 % wohl nur vermuten, dass das Präparat Pentanitrocellulose (mit 12,75 % N) mit etwas Hexanitrocellulose war; die letztere, bei der Nitration an der Oberfläche gebildet, schützte die erstere vor dem Angegriffenwerden durch den Ätheralkohol. Schon im Jahre 1846 hat Payen beobachtet, dass sich eine in ihrer ursprünglichen Gestalt in Ätheralkohol unlösliche Schiessbaumwolle in diesem Lösungsmittel sofort löste, nachdem er sie zerschnitten (Ber. d. Par. Akad. Bd. XXIII, S. 1088). Die inneren Schichten eines Nitrierobjekts erhalten natürlich immer erst etwas später Säure, und dann noch zunächst nur eine, die schon durch Nitration der äusseren Schichten verwässert ist; und bei einem dickflüssigen Nitriermittel kann dieser Übelstand am leichtesten hervortreten. — Gemenge von 100 kbcm Schwefelsäure (66° B.) mit 100 gr Kalisalpeter geben bei 60° bis 70° C. schon nach 6 bis 10 Minuten lösliche Kollodiumwollen, obschon das Gemisch gar kein Wasser enthält.

Cellulosepentanitrat, $C_{12}H_{15}O_5(NO_3)_5$, rein mit 12,75 %. — Schon zu wiederholten Malen wurde diese Formel dem Pyroxylin beigelegt, aber immer irrtümlich. Man hielt die eigentliche Schiessbaumwolle für das Pentanitrat und leugnete die Existenz des Hexanitrates. Die Veranlassung zu dieser Ansicht mag eine zweifache Wurzel haben; teils die Verunreinigung des in Alkoholäther unlöslichen Hexanitrates mit Kollodiumpyroxylin (Penta- und Tetranitrat), oder mangelhafte Nitrierung des Produktes, teils legte man der Gewichtszunahme der Cellulose beim Behandeln mit Salpeter-Schwefelsäure eine zu grosse Beweiskraft zu.[1]) Die „Pentanitrocellulose“ soll nach diesen Ansichten in Ätheralkohol unlöslich sein.

[1]) In der That entspricht diese Gewichtszunahme bei der Darstellung der Schiessbaumwolle eher der Formel des Pentanitrates als der des Hexanitrates; Eder legt diesem Umstande wenig Wert bei, da die Säuren etwas auflösen und die elementare Zusammensetzung der Schiessbaumwolle den Ausschlag giebt.

Das eigentliche Cellulosepentanitrat, dessen Entstehen Eder häufig beobachtete, hat andere Eigenschaften: es unterscheidet sich von dem Hexanitrat durch seine Löslichkeit in Ätheralkohol.

Cellulosepentanitrat entsteht immer beim Behandeln von Baumwolle mit stark konzentrierten Säuregemischen und bei niedriger Temperatur; ein bedeutender Schwefelsäurezusatz zur Salpetersäure (von mindestens gleichem Volumen) befördert die Entstehung der genannten Verbindung. Auf diese Weise entsteht das Pentanitrat niemals rein, sondern entweder mit Hexanitrat gemengt (dann waren die Säuren zu konzentriert; das Pyroxylin ist dann partiell in Ätheralkohol unlöslich) oder mit Tetranitrat verunreinigt (dann ist das Pyroxylin mit zu verdünnten Säuren dargestellt und in Ätheralkohol völlig löslich). Bei seiner, mehrere hundert einzelne Experimente umfassenden Versuchsreihe über die Bildung der Nitrate der Cellulose erhielt Eder häufig pentanitrathaltige Cellulosen. Einige Fälle sind:

1. Das nach obiger Vorschrift hergestellte Hexanitrat giebt an Ätheralkohol ein Pyroxylin ab, welches nach dem Fällen aus der äther-alkoholischen Lösung mit Wasser als leichte, weisse, flockige Masse erhalten wird. Es hatte den Stickstoffgehalt von 11,98 Procent, war also ein Gemenge von Pentanitrat mit Tetranitrat und zwar ungefähr zu gleichen Teilen.

2. Ein Gemenge von 2 Vol. Schwefelsäure (d = 1,845) mit 1 Vol. Salpetersäure (d = 1,42) gab bei einer anfänglichen Einwirkungstemperatur von 63° C. und 15stündiger Einwirkung des allmählichem Erkalten überlassenen Gemenges ein Pyroxylin, welches

12,99 Procent Stickstoff

enthielt, also als Cellulosepentanitrat anzusehen wäre. Beim Behandeln mit Ätheralkohol wurde aber ein Teil gelöst, und das Unlösliche hatte ein Gehalt von 13,86 Procent Stickstoff, welcher dem Hexanitrat nahekommt. Durch die blosse Analyse des Rohproduktes darf man sich also nicht verleiten lassen, einem Pyroxylin eine Formel zu geben. Hier lag offenbar ein Gemenge von Hexanitrat mit Penta-, ja vielleicht Tetranitrat vor.

3. Glücklicher war Eder bei einer anderen Reihe von Pyroxylinen, die bei gewöhnlicher Temperatur mit möglichst konzentrierten Säuren, welche eben noch ein in Ätheralkohol lösliches Pyroxylin gaben, und bei welchen schon eine geringe Vermehrung der Konzentration der Säuren das Unlöslichwerden herbeiführte, hergestellt waren.

Beim Digerieren von Baumwolle mit einem auf gewöhnliche Lufttemperatur abgekühlten Gemische von gleichem Vol. konzentrierter Schwefelsäure und Salpetersäure (d = 1,40) durch 1 bis 5 Stunden war

das Pyroxylin in Ätheralkohol gänzlich löslich und hatte einen Stickstoffgehalt von 12,31 Procent. 12,42 Procent.

Oder beim zweitägigen Digerieren mit gleichem Vol. konzentrierter Schwefelsäure und Salpetersäure (d = 1,42) bildete sich ein in Ätheralkohol lösliches Pyroxylin von

12,35 Procent. 11,92 Procent Stickstoffgehalt.

Andere Kollodiumwollen mit 11,6 bis 12,0 Procent Stickstoff wurden häufig erhalten; alle gaben sehr leimartige Kollodien. Der zu niedrige Stickstoffgehalt rührt offenbar von einem Gehalte an Cellulosetetranitrat her, welches sich unter nahezu denselben Verhältnissen wie das Pentanitrat bildet. Etwa beigemengtes Hexanitrat ist leicht durch Digestion mit Ätheralkohol zu entfernen, wie bei der Beschreibung des Hexanitrates gezeigt. Sehr schwer ist dagegen die Entfernung des Tetranitrates, welche trotz vielfacher Versuche nicht vollständig gelang.

Am besten geschieht die Reinigung des Pentanitrates nach der folgenden Methode, welche auf der Unlöslichkeit des Pentanitrates in sehr ätherarmem Alkohol, in welchem das Tetra- und Trinitrat löslich sind, basiert. Eder begoss das sub 3 zu Beginn beschriebene Pyroxylin mit Äther, dem er sehr wenig Alkohol (nur so viel, dass das Pyroxylin sich zu lösen begann) zusetzte; nach einigen Tagen hatte sich eine dicke gelatinöse Masse gebildet, welche träge floss (Hexanitrat war nicht vorhanden, weil nichts Faseriges ungelöst blieb). Diese Lösung wurde in einen Überschuss von Alkohol von 93° Tr. (etwa das 3fache Vol.) gegossen; es scheidet sich das Pentanitrat aus der Lösung in Form einer klaren Gallerte aus, welche nach ruhigem Stehen sich zu Boden setzt und erst beim Dekantieren der Flüssigkeit sichtbar wird. Diese Masse sammelte Eder auf einem Leinwandfilter, wusch mit Alkohol und legte das Filter sammt Inhalt in Wasser, um das Eintrocknen des Pentanitrates zu verhindern. Nach einigen Stunden lässt sich das Pyroxylin leicht als nicht mehr klebrige Masse entfernen; sie erscheint nach dem Trocknen gummös. Dass das Cellulosepentanitrat durch diese Operation wirklich gereinigt worden war, zeigte die Analyse. Es fanden sich:

12,57 Procent Stickstoff.

Diese Methode der Fällung gelingt nur, wenn die ätherische Lösung genügend konzentriert ist und das angewendete Pyroxylin nicht zu arm an Pentanitrat ist; denn auch das Pentanitrat ist nicht ganz unlöslich in starkem Alkohol und der Verlust ist immer gross. Zu schwacher Alkohol fällt auch das Tetranitrat, eignet sich also nicht zur Trennung.

Unvollständiger gelingt die Reinigung des Pentanitrats durch Auskochen mit absolutem Alkohol (welcher ein wenig Trinitrat entzieht) und Digerieren bei gewöhnlicher Temperatur mit Eisessig.

4. Sehr rein entsteht das Cellulosepentanitrat durch Auflösen von Pyroxylin in warmer Salpetersäure und Fällung der klaren Lösung durch überschüssige Schwefelsäure. Die Beobachtung, dass Schiessbaumwolle sich zwischen 80 und 90° C. in konzentrierter Salpetersäure löst und durch Vitriolöl in weissen amorphen Flocken gefällt wird, machte schon de Vrij,[1]) ohne dass er das Produkt untersucht hätte.

Eder löste gewöhnliche Kollodiumwolle (mit 11,3 Procent N) bei 40 bis 60° C. in Salpetersäure (d = 140); es wurde so lange Pyroxylin eingetragen, bis die Lösung sich stark gelb zu färben begann, wozu eine etwa einstündige Digestion erforderlich war. Die trübe Lösung wurde zuerst auskühlen gelassen, dann in Eis gekühlt, weil sich sonst rote Dämpfe bilden, welche, wenn sie einmal in erheblicher Menge auftreten, sich nicht mehr unterdrücken lassen, sondern bis zur Zerstörung des Pyroxylins andauern. Die durch Asbest filtrierte salpetersaure Pyroxylinlösung wird weder durch Wasser noch durch Abstumpfen mit Soda gefällt,[2]) wohl aber reichlich durch Zusatz des 4fachen Volumens von konzentrierter Schwefelsäure (d = 1,840). Beide Flüssigkeiten waren zuvor in Eis gekühlt, ebenso das Becherglas, in welchem die Fällung vorgenommen wurde. Die trübe Flüssigkeit wurde nach einigen Minuten in eine grosse Menge kalten Wassers gegossen, um die weitergehende zersetzende Einwirkung der Schwefelsäure aufzuheben. Es schied sich viel flockiges Pyroxylin aus, welches durch Dekantieren gewaschen, auf einem Filter gesammelt und wiederholt mit Wasser, schliesslich einmal mit Alkohol gewaschen wurde. Zur Reinigung wurde die lufttrockene Substanz in Ätheralkohol (worin sie sich leicht löst) aufgelöst und mit Wasser, welches die Lösung milchig trübt, gefällt. Die auf einem Filter gesammelte pulverige Masse enthielt nach dem 8tägigen Trocknen im Vakuum über Schwefelsäure

13,02 Procent N. 12,84 Procent N.

Es lag also das Cellulosepentanitrat vor, welches in Ätheralkohol leicht und vollständig löslich ist, also kein Hexanitrat enthalten kann. In reinem Äther ist es unlöslich, ebenso in reinem Alkohol, dagegen in Essigäther leicht löslich. Bei 100° C. ballt sich das weisse Pulver zusammen. Kalte Essigsäure löst es nur wenig. Kalilauge führt es in Cellulosedinitrat über. Die ätheralkoholische Lösung giebt beim Verdunsten auf einer Glasplatte eine durchsichtige Haut. Die Ausbeute

[1]) Ber. d. Par. Akad. Bd. XXIV, S. 19.

[2]) Nach de Vrij und Porret wird die salpetersaure Pyroxylinlösung durch Wasser gefällt. Dies tritt nach Eder nur bei sehr starker Salpetersäure ein (d = 1,45) und auch diese Lösung büsst bei längerer Digestion bei 60° C. ihre Fällbarkeit durch Wasser ein. Mit Soda fiel nur wenig amorphe Kollodiumwolle aus.

beträgt 6 bis 10 Procent vom Gewichte des angewendeten Pyroxylins. Die Analysen zeigen deutlich, dass die Zusammensetzung des ursprünglich angewendeten Pyroxylins sich durch das Lösen in Salpetersäure und Fällen mit Schwefelsäure geändert hat, nämlich dass der Stickstoffgehalt gestiegen ist: das hauptsächlich Tentranitrat enthaltende Pyroxylin geht in Pentanitrat über. Auffallend ist die Erscheinung, dass auf diese Weise als salpetersäurereichste Verbindung des Pentanitrat entsteht, während Hexanitrat zu erwarten war; denn in dem genannten Gemische geht reine Baumwolle in Hexanitrat über.

Das nach den ersterwähnten Methoden erhaltene Pentanitrat (direkt durch Nitrieren von Baumwolle mit den entsprechenden Gemischen) hat die meisten Eigenschaften mit dem durch Fällen aus salpetersaurer Lösung erhaltenen gemeinsam: die Löslichkeit in Ätheralkohol, in Essigäther, Unlöslichkeit in reinem Äther und reinem Alkohol. Dagegen zeigt die ätheralkoholische Lösung des ersteren eine ausgesprochen dickere, fast leimartige Konsistenz, während die letztere dünnflüssig ist und sich auch mit ätherärmeren Gemischen als erstere herstellen lässt. Die gelatinöse Konsistenz dürfte wohl von spurenweise mit aufgelöstem Hexanitrat herrühren.

Die beschriebene Verbindung ist das wirkliche Cellulosepentanitrat, welches nicht als ein mit Hexanitrat verunreinigtes Tetranitrat betrachtet werden darf, weil die völlige Löslichkeit in Ätheralkohol gegen die Anwesenheit des in diesem Lösungsmittel unlöslichen Hexanitrats spricht.

Cellulosetetranitrat, $C_{12}H_{16}O_6(NO_3)_4$, rein mit 11,11 % N, und Cellulosetrinitrat, $C_{12}H_{17}O_7(NO_3)_3$, rein mit 9,15 % N, bilden sich bei der Darstellung von Kollodiumwolle immer nebeneinander, vorausgesetzt, dass die Säuren nicht zu konzentriert und genügend warm waren. Eder führt einige Beispiele an:

1. Das durch Behandeln von Baumwolle mit einem Gemenge von 1 Vol. Schwefelsäure (d = 1,845) und 1 Vol. Salpetersäure (d = 1,38) bei 65° C. durch 5 bis 10 Minuten entstehende Pyroxylin hat folgende Zusammensetzung:

	a	b	c	Berechnete Zusammensetzung des Cellulosetetranitrates
C	28,10	—	—	28,57
H	3,22	—	—	3,17
N	—	11,41	11,51	11,11

Die Zusammensetzung nähert sich also der des Tetranitrates; jedoch ist die Verbindung nicht ganz rein. Sie ist in Ätheralkohol vollständig löslich.

2. Ein Gemenge von gleichen Vol. Schwefelsäure (d = 1,845) und Salpetersäure (d = 1,40) gab bei 80° C. durch 15 Minuten langes Behandeln von Baumwolle ein Pyroxylin von nachstehender procentualer Zusammensetzung:

C	27,90	—
H	3,33	—
N	—	11,06.

Hierher gehört auch die bei den Photographen sehr beliebte Schering'sche Kollodiumwolle, welche die Zusammensetzung des Tetranitrates hat.

3. Ein Gemenge von 80 kbcm Salpetersäure (d = 1,38 bis 1,39) und 100 kbcm Schwefelsäure (d = 1,845) giebt bei 65 bis 70° C. ein kurzfaseriges Pyroxylin. Wendet man zu viel Baumwolle an, so wird sie zerstört. Einwirkung 5 bis 10 Minuten. Das Produkt enthält:

10,12 Procent Stickstoff,

ist also ein Gemenge von Tetranitrat mit viel Trinitrat.

Die Trennung des Tetranitrates und Trinitrates gelang nicht, obschon sie in ihrem Verhalten eine merkliche Verschiedenheit zeigen. Das Tetranitrat (richtiger gesagt, die an Tetranitrat reichen Kollodionwollen) sind in reinem Äther und reinem Alkohol unlöslich (auch in der Wärme), dagegen leicht löslich in Ätheralkohol, Essigäther, Holzgeist, einem Gemenge von Essigsäure und Alkohol, Essigsäure und Äther. In kaltem Eisessig ist es kaum, in kochendem langsam löslich. Das Trinitrat (d. h. die an diesem reichen Gemische) werden von absolutem Alkohol bei gewöhnlicher Temperatur allmählich aufgelöst; ein grosser Ätherüberschuss fällt die konzentrierte alkoholätherische Lösung milchig. Es ist in Essigäther, Holzgeist, kochendem Eisessig leicht löslich.

Durch Behandlung mit konzentrierter Salpeter-Schwefelsäure geht sowohl Tetranitrat wie Trinitrat in Penta- und Hexanitrat über. Kalilauge und Ätzammoniak verwandelt sie in Dinitrat; sie verhalten sich im allgemeinen dem Hexanitrat analog.

Die beschriebene Verbindung muss das wirkliche Cellulosetrinitrat sein, und darf nicht etwa als ein Gemenge von Tetranitrat mit Dinitrat aufgefasst werden. Das Dinitrat hat nämlich die charakteristische Eigenschaft, aus der alkoholätherischen Lösung milchig trübe einzutrocknen und schon in ganz geringer Menge dem Tetranitrat beigemengt, die Kollodiumhaut trübe erscheinen zu lassen. Ist die aus irgend einem Pyroxylin erhaltene Kollodiumhaut (auf Glas) klar und blank, so kann Dinitrat auch nicht in kleinen Mengen vorhanden sein, wovon Eder sich durch direkte Versuche mit reinem Dinitrat überzeugte. Der sich der Zusammensetzung des Trinitrates nähernde Stickstoffgehalt kann also nicht

einer Beimengung von Dinitrat zugeschrieben, sondern muss auf die Anwesenheit des Cellulosetrinitrates zurückgeführt werden. Die Annahme der Existenz dieser Verbindung ist also sehr begründet, wenn auch die Darstellung der reinen Substanz nicht gelang.

Cellulosedinitrat, $C_{12}H_{18}O_8(NO_3)_2$, rein mit 6,76 % N, entsteht immer als letztes Produkt der Salpetersäure entziehenden Einwirkung von Kali oder Ammoniak auf die anderen Cellulosenitrate, ausserdem bei der Einwirkung von sehr verdünnter und heisser Salpeter-Schwefelsäure auf Cellulose, wenn das Pyroxylin schon unter teilweiser Zersetzung und Entwickelung von roten Dämpfen sich zu lösen beginnt.

Wird eine Lösung von Pyroxylin in Ätheralkohol mit Kalilauge oder Ammoniak behandelt, so geht dasselbe aus dem Zustande des Penta- und Tetranitrates allmählich in Trinitrat und schliesslich in Dinitrat über, welches keine Salpetersäure mehr abgiebt, sondern bei der fortgesetzten Einwirkung von Alkalien gänzlich zersetzt wird, organische Säuren bildet und verharzt.

Diese Reaktion kann in zweifacher Weise durchgeführt werden:

a) Das Kollodium wird mit konzentrierter wässeriger Kalilauge geschüttelt; nach kurzer Zeit färbt sich die Flüssigkeit braun und es setzt sich eine dunkle teerartige alkalische Flüssigkeit am Boden ab. Die ätheralkoholische Lösung enthält nichts durch Wasser Fällbares mehr. Die wässerige alkalische Flüssigkeit wird mit Wasser verdünnt, durch Essigsäure schwach angesäuert. Es scheidet sich ein feinflockiger Niederschlag aus, welchen Eder durch Lösen in Alkoholäther reinigte und in Form eines gelblichweissen leichten Pulvers erhielt. Es enthielt

7,05 Procent Stickstoff.

Besser ist es, das Kali in alkoholischer Lösung dem Kollodium zuzusetzen, nach etwa 1 Stunde das dünnflüssig gewordene Kollodium mit wenig Wasser zu versetzen und aus dieser wässerigen alkalischen Lösung wie oben durch Essigsäure das Cellulosedinitrat auszuscheiden. Es bildet sich hierbei weniger von den teerigen Nebenprodukten.

b) Man löst 2 bis 4 g Kollodiumwolle in 100 kbcm Alkoholäther, setzt dem Kollodium die doppelte bis dreifache der zur Neutralisation aller Salpetersäure nötigen Menge von alkoholischer Kalilauge zu und schüttelt. Das Kollodium wird sehr dünnflüssig und gelbbraun gefärbt. Nach 1 bis 3 Stunden wird mit Wasser stark verdünnt und mit verdünnter Schwefelsäure das freie Kali abgestumpft. Es sammelt sich an der Oberfläche ein weisser flockiger Niederschlag, welcher abfiltriert und getrocknet zu einer durchscheinenden gelblichen Masse (dem Kieselsäurehydrat ähnlich) eintrocknet. Ist bei dieser Operation kein genügender Überschuss von Kali

vorhanden, so bildet sich ein Gemenge von Trinitrat und Dinitrat, welches bei Eder's Analyse 8,49 Procent Stickstoff enthielt (also aus etwa gleichen Teilen Tri- und Dinitrat bestand); das mit alkoholischer Kalilauge versetzte Kollodium ist dann durch viel Wasser bedeutend fällbar (Ausscheidung von flockigem Pyroxylin), während nach der vollzogenen Umwandlung in Dinitrat Wasser nur sehr wenig auszufällen pflegt.

Die Analyse des zerriebenen und im Vakuum über Schwefelsäure getrockneten Cellulosedinitrates ergab:

	Berechnet	Gefunden		
		a	b	c
C	34,78	35,82	—	—
H	4,34	4,60	—	—
N	6,76	—	6,89	7,05

Als letztes Produkt der Einwirkung entsteht also Cellulosedinitrat, worin Eder mit Wolfram übereinstimmt, welcher ebenfalls die Angabe Béchamps, das Endprodukt der Einwirkung von Kali sei das Trinitrat, widerlegte.

Das Cellulosedinitrat ist je nach der Darstellung ein gelbliches Gummi oder ein flockiges Pulver. Es ist (wie alle gefällten Pyroxyline) nur schwer entzündlich und verpufft bei 175° C. Es ist in Alkoholäther, absolutem Alkohol, Eisessig, Holzgeist, Essigäther, Aceton leicht, sehr schwer in reinem Äther löslich. In ätheralkoholischer Kalilauge ist es löslich, ebenso in wässeriger Lauge (nach oben erwähnter Methode aus kalischem Kollodion gefällt) und aus diesen Lösungen nur durch Säuren fällbar. Jedesmal wird ein grosser Teil des Dinitrates beim Lösen in Kalilauge zerstört und geht in eine braunschwarze gummöse Masse über. Charakteristisch ist das Verhalten der ätheralkoholischen Lösung, welche, auf einer Glasplatte verdunstet, eine opake, milchigtrübe, mürbe Kollodiumhaut hinterlässt; auch gutes Kollodium erhält durch eine kleine Beimischung von Dinitrat dieselbe Eigenschaft.

Dass bei der Einwirkung von Ammoniakgas auf eine Lösung von Kollodiumwolle in etwas wasserhaltigem Alkoholäther allmählich das Cellulosedinitrat entsteht, hat Wolfram nachgewiesen.

Eder fand, dass festes Kaliumcarbonat oder Natriumcarbonat, mit Kollodium geschüttelt, in einigen Tagen salpetersaures Kali und Cellulosedinitrat bildet, welches sich merkwürdigerweise ebenfalls mit dem am Boden der Flasche befindlichen Kalium- oder Natrium-Carbonat verbindet, so dass der Ätheralkohol kein Pyroxylin mehr enthält. Essigsäure fällt aus der wässerigen Pottaschelösung flockiges Cellulosedinitrat von den erwähnten Eigenschaften.

Augenscheinlich existieren Verbindungen von Cellulosedinitrat mit Alkalien, welche in Ätheralkohol unlöslich, in Wasser löslich sind, und durch Säuren unter Fällung von Dinitrat zersetzt werden.

Ein Cellulosemonitrat erhielt Eder niemals; auch bei fortgesetzter Einwirkung von Kalilauge wird das Dinitrat eher zerstört, bevor sich ein Mononitrat bildet.

Mit Eder's dankenswerten Untersuchungen ist natürlich das letzte Wort über die Formel der Cellulose und die Zahl der Cellulosenitrate wohl noch nicht gesprochen. Vieille, der Erfinder des französischen rauchschwachen Pulvers von 1886, hält z. B. eine von ihm untersuchte hochnitrierte Schiessbaumwolle, welche in Essigäther löslich, in Ätheralkohol fast unlöslich war und für die Stickstoffbestimmung 202,1 kbcm (bei 0^0 C. und 766 mm Barometerstand) Stickoxyd aus dem Gramm, also 12,67 $^0/_0$ N, ergab, für das Produkt einer elffachen Nitration von Cellulose $C_{24}H_{40}O_{20}$ (Ber. d. Par. Akad. Bd. XCV, S. 132), und B Tollens meint sogar (im Artikel „Kohlenhydrate" von Ladenburg's Handwörterbuch der Chemie, Bd. VI, S. 139), das Molekül der Cellulose sei wenigstens $C_{150}H_{300}O_{150}$, wonach wir uns entschliessen müssten, mit einer „Enneakontanitrocellulose" und einer entsprechenden Reihe niedriger nitrierter Produkte zu rechnen. Jedenfalls gehört aber Eder das wissenschaftliche Verdienst, zuerst die Unhaltbarkeit der einfachen Formel $C_6H_{10}O_5$ für die Cellulose nachgewiesen zu haben, und für die Praxis der Schiesswollfabrikation sind namentlich die beiden Nachweise von Wert, dass die wirklich höchstnitrierte Cellulose nur in Aceton, nicht aber auch in Essigäther löslich ist — wir werden im Späteren auch noch in neueren und von Sprengstofffabriken ersten Ranges herrührenden Patentschriften in Aceton und in Essigäther lösliche Schiesswollen als höchstnitrierte bezeichnet finden, — und dass die höchstnitrierte unter den unmittelbar durch Nitration herzustellenden, in Ätheralkohol löslichen Schiessbaumwollen. die „Pentanitrocellulose", einen um 1,39 $^0/_0$, gewöhnliche Kollodiumwolle aber, das manchmal auch mit Pentanitrat, stets aber mit „Trinitrat" vermischte „Tetranitrat", einen um mehr als 3 $^0/_0$ niedrigeren Stickstoffgehalt, also eine etwa um ein Drittel niedrigere potentielle Energie hat, als die höchstnitrierte, nur in Aceton lösliche Schiesswolle. Nachdem wir gelernt haben, die übermässige Brisanz jeder Nitrocellulose ohne Opfer an potentieller Energie zu brechen, hat es keinen Sinn mehr, diesen Zweck auf Wegen zu verfolgen, der zwar stets zu Kraftverlusten, schon nach den in der ersten Zeit der Schiessbaumwolle gemachten Erfahrungen aber nie zu einer praktisch in Betracht kommenden Verminderung der Verbrennungsgeschwindigkeit führen.

Da auf mechanischem Wege hergestellte Mischungen stets weniger

gleichmässig und innig sind, als chemische Verbindungen, und aus diesem Grunde auch weniger vollständig verbrennen, sind die Kraftverluste gewöhnlich noch etwas grösser, wenn man zur Herabsetzung des Stickstoff-Sauerstoffgehalts nicht schwächer nitrierte Cellulose, sondern geringere Mengen ganz unnitrierter Baumwolle oder anderer Stoffe, die zu ihrer Verbrennung fremden Sauerstoff brauchen, beimischt. Rationeller sind die Sauerstoff abgebenden Beimischungen, die man der Schiessbaumwolle gegeben hat, um allen in ihr enthaltenen Kohlenstoff, der sonst bekanntlich stets zum teil nur Kohlenoxydgas ergiebt, zu Kohlensäure zu verbrennen. Wie schon aus den ersten Kapiteln dieses Buches bekannt, ist die Auswahl an solchen zum Eintreten in explosive Mischungen geeigneten Stoffen nur gering; es kann sich im wesentlichen nur um Kalisalpeter, chlorsaures Kali und Ammoniumnitrat, allenfalls auch noch um Bariumnitrat handeln.

Ein Gemenge von 57,7 % Schiessbaumwolle und 42,3 % Kaliumchlorat, in welchem alle Kohle zu Kohlensäure verbrannt wird, erzielt nach Berthelot (a. a. O., Bd. II, S. 246) 1367 Cal. aus dem Kilogramm, also sogar etwas mehr, als reine Schiesswolle. Die Anwendung mit Kaliumchlorat — anstatt des schon vorher versuchten Salpeters — imprägnierter Schiessbaumwolle schlug zuerst Bizard vor (Ber. d. Par. Akad., Bd. XXIII, S. 984); machte aber zugleich darauf aufmerksam, dass es gefährlich wäre, in einer Pistole mehr als 40—50 Milligramme eines solchen Präparates, — die nach dem Obigen bestenfalls etwa die gleiche Kraft, wie die völlig ungenügende Ladung von einem Zehntel Gramm Schwarzpulver ergeben konnten, — zu gebrauchen. Zur Milderung der Brisanz konnte also der Chloratzusatz durchaus nicht dienen, vielmehr vermehrte er sie in höherem Masse, als die Arbeitsleistung; und ausser der kombinierten Brisanz von Schiessbaumwolle und Kaliumchlorat zeigen solche Gemenge all die unangenehmen Eigenschaften jeder Chloratmischung, d. h. vor allem die zerstörende chemische Einwirkung des bei der Explosion freiwerdenden Chlors auf das Metall der Waffen, — welche die hier wegen des geringeren oder ganz fortfallenden Mangels an Sauerstoff leichter, als bei reiner Schiesswolle zu vermeidende unvollständige Verbrennung mit Stickoxydgasbildung mehr als aufwiegt, — und die grosse Empfindlichkeit gegen Schlag, Reibung u. s. w. Die letztere Eigenschaft wollte Pelouze zur Herstellung von Zündhütchen benutzen, nachdem sich reine Schiesswolle zu diesem Zwecke nicht bewährt (ebend. S. 1021), doch ist Chlorentwickelung auch bei Zündhütchenmasse ein Fehler, der das Kaliumchlorat bei der Fabrikation guter Zündhütchen ausschliesst.

Von den specifischen Fehlern der Chloratgemenge sind Zusammensetzungen mit Kali- und Ammoniaksalpeter frei, und der letztgenannte

Zusatz hat die für rauchschwache Treibmittel natürlich sehr schätzbare Eigenschaft, sich völlig und bleibend in Gase aufzulösen; leider steht seine Hygroskopizität auch hier seiner Verwendung im Wege und erst als Zusatz zu gelatinierten Nitrocellulosepulvern hat das Ammoniumnitrat in Verbindung mit Schiessbaumwolle neuerdings begonnen, in der Pulverfabrikation eine bemerkbare Rolle zu spielen. Die Wärmeentwickelung von Schiesswollgemischen mit Kalisalpeter und Ammoniumnitrat, die annähernd auf höchstmögliche Verbrennung hin dosiert waren und dem Umstande, dass in der Schiesswolle selbst nie der theoretisch höchstmögliche Stickstoff-Sauerstoffgehalt anzunehmen war, stets durch einen Überschuss an dem sauerstoffliefernden Salz Rechnung trugen, haben Sarrau und Vieille durch Versuche bestimmt. Eine Mischung von rund 40 % (statt 41,1 %) Schiesswolle und 60 % (statt 58,9 %) Ammoniumnitrat ergab 1273 Cal., eine solche von 50 % (statt 58 %) Schiessbaumwolle und 50 % (statt 42 %) Kalisalpeter 954 Cal. Die letztgenannte Mischung, welche mindestens ebenso haltbar ist, wie reine Nitrocellulose, ergiebt also nur etwa 10 % weniger Kraft, als beste Schiessbaumwolle, und etwa ebenso viel, wie eine Schiesswolle, in welcher der Stickstoffgehalt durch Zusatz von Kollodiumwolle oder unnitrierter Baumwolle um 1 % herabgesetzt ist (vgl. oben S. 177). Freilich verursacht der Salpeter das Entstehen fester Explosionsprodukte, doch sind diese schwefelfrei und ihre Menge immer noch geringer, als beim Schwarzpulver, und die Brisanz der Schiesswolle kann thatsächlich durch Salpeterzusatz so merklich herabgesetzt werden, dass Pulver aus Nitrocellulose mit Kali-, oder selbst mit dem in Bezug auf Kraftabnahme[1]) und Rückstandzunahme noch unvorteilhafteren Barytsalpeter unter den Erzeugnissen der zweiten Periode der Schiessbaumwolle als Treibmittel die erste Rolle spielen.

In der ersten Periode treten sie gegen ein Schiesswoll-Munitionssystem weit zurück, welches auf der Vereinigung von Verdünnung, Verdichtung und vorsorgender Anordnung eines genügenden anfänglichen Verbrennungsraumes beruhte und namentlich in Verbindung mit einem von demselben Erfinder herrührenden Geschützsystem so gute Erfolge ergab, dass es in einem Grossstaate zu einer probeweisen Einführung in die Bewaffnung der Armee gelangen konnte, während es alle Konkurrenten höchstens nur zu Erprobungen durch dazu bestimmte Behörden oder Kommissionen brachten.

Die Bemühungen v. Lenk's in Österreich sind zum teil schon aus dem Früheren (S. 142—147) bekannt.

[1]) Ein Gemenge von 51,6 % Schiesswolle und 48,4 % Bariumnitrat giebt nach Berthelot (a. a. O., Bd. II, S. 244) etwa $^1/_9$ weniger Wärme, als ein gleichfalls auf vollständige Verbrennung hin zusammengesetztes Kalisalpeter-Schiesswollgemisch.

Im Jahre 1852 wurde auf Allerhöchsten Befehl eine Kommission ernannt, um die von Lenk verbesserte Schiesswolle nach allen Richtungen hin auf ihre Brauchbarkeit für Kriegszwecke gründlich zu prüfen.[1]) Feldmarschall-Lieutenant v. Hauslab präsidierte dieser Kommission. Die Versuche begannen im April 1853 und dauerten mit mehrfachen Unterbrechungen bis zum Sommer 1865.

Im Sommer des Jahres 1853 wurde schon, wie bereits erwähnt, die Erfindung der Schiessbaumwolle von Schönbein und Böttger angekauft, die Hirtenberger Schiesswollfabrik gegründet und die Herstellung einer Schiesswoll-Zwölfpfünderbatterie nach einer von Lenk angegebenen Konstruktion beschlossen, der sich bald noch 4 gleiche Batterieen zugesellten, so dass die k. k. Artillerie schon im Jahre 1855 fünf völlig kriegsfertige Schiesswollbatterieen, die jeden Augenblick ins Feld rücken konnten, besass. Allein der damals in Aussicht stehende Feldzug unterblieb, und die eintretenden Reduktionen erstreckten sich auch auf die zur Reserve gehörigen Schiesswollbatterieen, deren Auflösung unter Depositierung des Materiales anbefohlen wurde. Die depositierten Geschütze wurden auf Anordnung der General-Artillerie-Direktion kommissionell untersucht, und es ergab sich, dass sie vielfach beschädigt waren. Das hatte, im Verein mit der damals allgemein erfolgten Verwerfung der Schiesswolle im Auslande, zur Folge, dass von der ferneren Aufstellung solcher Batterieen Abstand genommen wurde. Feldmarschall-Lieutenant v. Hauslab, der am eifrigsten für die Schiesswolle gekämpft, wurde vielfach angegriffen und beantragte Auflösung der unter seinem Vorsitze arbeitenden Kommission und Übertragung ihrer Aufgaben auf das zu jener Zeit geschaffene k. k. Artillerie-Comité, welchem Antrag auch stattgegeben wurde.

In den folgenden Jahren 1856 und 1857 war v. Lenk grösstenteils darauf beschränkt, seine Schiesswolle durch das Genie-Comité bei Sprengungen prüfen zu lassen; im Jahre 1858 wurden jedoch durch das Artillerie-Comité abermals Schiessversuche mit Schiessbaumwolle angestellt, welche zwar die Einführung des sog. „Projektsmaterials“, des letzten Verbesserungsversuchs mit glatten Pulvergeschützen in Österreich, nicht verhinderten, jedoch im Jahre 1859, noch während des Krieges in Italien, dazu führten, dass die Bereithaltung dreier Schiesswollbatterien anbefohlen wurde. Der früher, als erwartet, erfolgende Friedensschluss zu Villafranca bewirkte, dass die bereit gehaltenen Schiesswollbatterieen wieder nicht ins Feld rücken konnten; die Erfahrungen des Feldzuges nötigten aber Österreich, eine völlige Umgestaltung seines Geschützwesens vorzunehmen, bei der sich der Schiesswolle neue Aussichten eröffneten.

[1]) Nach Rutzky und v. Grahl, Das gezogene Schiesswollgeschütz, Wien 1862; nach dieser Schrift auch Abb. 25—30.

Ein von Lenk angegebenes gezogenes Bronzegeschütz-System mit Schiesswoll-Treib- und Geschossladungen ergab zuerst bei Vorversuchen im Jahre 1860 vorzügliche Resultate; dann wurden vom 2. Artillerie-Regiment mit mehreren Batterieen dieses Systems auf der Steinfelder Haide nächst Wiener Neustadt ausgedehnte Schiessversuche ausgeführt, bei denen stets eine Hälfte der Geschütze mit Pulver, die andere mit Schiesswolle feuerte. Der Vergleich fiel in Bezug auf Fortfall der Belästigungen durch den Rauch und Feuergeschwindigkeit sehr zu Gunsten der Schiesswolle aus, und zugleich lieferten diese Versuche auch den Beweis, dass selbst wenn sich die Schiesswolle schliesslich doch als unbrauchbar erweisen sollte, die Geschütze als Pulvergeschütze Wert behalten würden. Dass die Schiesswolle anfangs verhältnismässig etwas teurer war als Schiesspulver (die bei den ersten Versuchen in der Schweiz verwendete Schiesswolle kostete nach dem „Nürnberger Korrespondenten" vom 6. November 1846 vier mal so viel, als Schwarzpulver) hatte bei ihrer Beurteilung im Vergleich zu ihren übrigen Vorzügen und Fehlern nie eine erhebliche Rolle gespielt; bei dem nunmehr beabsichtigten Übergang einer grossen Wehrmacht vom alten Pulver zur Schiessbaumwolle war es aber immerhin ein den Bemühungen v. Lenk's zu dankender Vorteil, dass sich jetzt die Schiesswollladungen nicht teurer stellten, als die entsprechenden Pulverladungen (Rutzky und v. Grahl a. a. O. S. 15). Man pflegte damals die Feldgeschütze auch für den Wurf von Hohlgeschossen in hohem Bogen gegen gedeckte Ziele zu bestimmen, indem man ihnen ausser den normalen Kartuschen für den „direkten" Schuss auch schwächere mitgab. Demgemäss fertigte man auch für die v. Lenk'schen Geschütze doppelte Pulver- und doppelte Schiesswollmunition. Es hatte für den „direkten" Schuss der

8-Pfünder	$14\frac{1}{4}$	Lot Schiesswolle	oder	$39\frac{1}{4}$	Lot	Schwarzpulver
4 „	$7\frac{3}{4}$	„ „	„	$21\frac{3}{4}$	„	„
3 „	4	„ „	„	$11\frac{3}{8}$	„	„

für den Wurf der

8-Pfünder	$4\frac{1}{2}$	Lot Schiesswolle	oder	$12\frac{3}{4}$	Lot	Schwarzpulver
4 „	3	„ „	„	$8\frac{1}{2}$	„	„
3 „	2	„ „	„	6	„	„

Die Schiesswolle war in Schnurform gesponnen und auf cylindrische, innen leere Holzdosen, die beim Schuss natürlich zerstört wurden, aufgewickelt. Die äussere Hülle bildete Schafwollzeug. Die Schiesswollkartuschen waren immer genau ebenso gross, wie die äquivalenten Schwarzpulverkartuschen.

Bis zum Frühjahr des Jahres 1862 fuhr man mit der Beschaffung von Schiesswollbatterien fort und stellte nach und nach deren 30 auf.

Das gezogene Schiesswollgeschütz v. Lenk'schen Systems, — die bemerkenswerteste Erscheinung auf dem Gebiete für Nitrocellulose bestimmter Schiesswaffen bis zu unserer Zeit, — wurde in den drei eben genannten Kalibern hergestellt, die man noch nach dem Gewicht in das Rohr vor dem Einschneiden der Züge passender (nicht mehr daraus zu verfeuernder) Eisenkugeln wie bei glatten Geschützen als drei-, vier- und achtpfündig bezeichnete. Die dreipfündigen bildeten zu vieren eine Gebirgsbatterie, die anderen Feldbatterieen zu acht Geschützen. Die Vierpfünder hatten als Brigade-, die Achtpfünder als Reserve-Geschütze zu dienen. Die letzteren waren immer mit 6 Pferden bespannt, die Vierpfünder nur dann, wenn sie als Kavallerie-Geschütze dienen sollten; als Fuss-Geschütze konnten sie von 4 Pferden gezogen werden. Das nur für den Gebirgskrieg bestimmte dreipfündige Geschütz war zerlegbar und sowohl das Rohr, wie auch die übrigen Teile auf Tragtieren fortzubringen. Die oft geäusserten Befürchtungen, zum Aushalten von Schiesswollladungen geeignete Geschütze würden sehr schwer und wenig beweglich ausausfallen müssen, erschienen also als glänzend widerlegt.

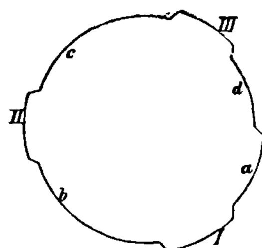
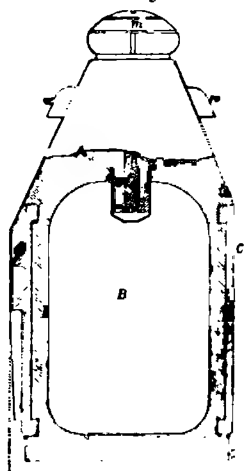


Abb. 24. Querschnitt der Seele des v. Lenk'schen gezogenen Schiesswollgeschützes.

Abb. 25.



Die Rohre der drei Kaliber unterschieden sich im wesentlichen nur durch ihre Abmessungen und zeigten in ihrem Äusseren die gewöhnliche Erscheinung bronzener Vorderlader; desto origineller war ihre innere Einrichtung.

Hinterladungsgeschütze erschienen in jener Zeit in Österreich namentlich für den Feldgebrauch noch zu kompliziert; man wollte ganz aus einem Stück gegossene, also Vorderladungsgeschütze. Auf Pressionsführung der Geschosse musste man also verzichten; diese mussten mit einigem Spielraum in den Lauf gebracht werden können, gleichzeitig war aber der Schusspräzision wegen überhaupt, und bei der Verwendung von Schiesswolle aus schon bekannten Gründen noch

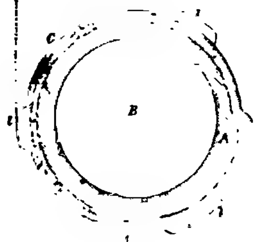


Abb. 26. Spitzhohlgeschoss des v. Lenk'schen gezogenen Schiesswollgeschützes.

ganz besonders, ein möglichst dichter und jedenfalls gleichmässiger Anschluss des Geschosses an die Rohrwände geboten. Expansions-Gasdichtungen am Geschoss hatten sich bei Geschützen nie bewährt; v. Lenk griff zu einem anderen Mittel. Er gab den inneren Laufwänden nicht den gewöhnlichen kreisförmigen Querschnitt, sondern den einer Spirale (*a b c d* in Abb. 24, S. 197). Die Spitzgeschosse zeigten in ihren Führungsteilen den bis auf die hier etwas geringe Länge der Spirale gleichen Querschnitt (Abb. 26). Das Geschoss war nun mit genügendem Spielraum in das Rohr zu bringen; drehte man es aber nach dem Einführen etwas (wozu ein glockenförmiger, zweimal geschlitzter Ansatz am Geschosssetzer und Warzen ww an den Geschossspitzen, Abb. 25) dienten), so schloss es sich dicht an die Rohrbohrung an, und nur zwischen den Enden der beiden Spiralen von Geschoss und Bohrung blieb ein kleiner Zwischenraum. Damit sich das Geschoss beim Schuss nicht zu stark „festkeilen" konnte, was anfangs bei nur mit diesem „Keilzug" versehenen Rohren vorkam und Beschädigungen der Geschosse verursachte, fügte man noch drei Züge gewöhnlicher Art (*I*, *II* und *III* in Abb. 24) hinzu, in welche Leisten an den Geschossmänteln (*ll* in Abb. 26) passten.

Das Hauptgeschoss der v. Lenk'schen gezogenen Schiesswoll-Geschütze war das „Spitzhohlgeschoss" (Abb. 25—26). Es bestand aus Gusseisen (*A*) und hatte einen Mantel (*CC*) von Zinn-Zinklegierung, der aussen die dem Rohrinneren angepasste Form zeigte. Es wog je nach dem Kaliber des Geschützes $4^7/_8$, $6^1/_2$ oder $12^5/_{22}$ Pfund. Der Hohlraum *B* enthielt $2^1/_2$, 3 oder 7 Lot Schiessbaumwolle, die durch den Aufschlagzünder ma zur Explosion gebracht wurde.

Ausser diesen Hohlgeschossen verfeuerte das v. Lenk'sche Schiesswollgeschütz noch Schrapnels, Brandgeschosse und Kartätschen. Die Kartätschen waren, wie gewöhnlich, Blechdosen mit Kugeln und Treibspiegel, das Brandgeschoss unterschied sich vom Spitzhohlgeschoss dadurch, dass es mit einem Brandsatz (im wesentlichen aus Schiesspulver und Harz bestehend) geladen war und am konischen Teil drei Löcher. durch welche das Feuer hinaussprühen sollte, hatte. Die Schrapnels hatten Zeitzünder, die auf dem Ausbrennen mit langsam brennendem Pulversatz ausgeschlagener Zündröhrchen beruhten, und enthielten hinter der Kugelfüllung in einer besonderen Kammer Schiesswollladungen, die nur gerade stark genug waren, um sie genügend zu zerteilen, ohne den Streuungskegel der Kugeln und Sprengstücke übermässig zu verbreitern. Beim 8-Pfünder betrug die Sprengladung des Schrapnels $^{11}/_{24}$ Lot, beim 4-Pfünder 260 Gran, beim 3-Pfünder sogar nur 100 Gran (also etwa eine doppelte Gewehrladung).

Auch bei den „Spitzhohlgeschossen" waren die Schiesswollladungen verhältnismässig sehr gering und entzündeten sich, wenn man die Geschosse

mit Pulver-Treibladungen abschoss, nicht; schoss man aber mit Schiesswolle, so traten, wie schon im Früheren berührt, oft — sei es infolge von unmittelbarem Zerschlagen der Geschosse durch die Treibladung oder Entzündung der Sprengladung durch die eintretende plötzliche Stauchung — Rohrkrepierer ein, die langwierige Reparaturen nötig machten. Die Art dieser Reparaturen und die dazu nötigen vielteiligen Instrumente beschreiben Rutzky und v. Grahl folgendermassen:

„Da es beim Scharfschiessen vorkommen kann, dass ein Hohlgeschoss noch in der Bohrung des Rohres zerspringt, und da durch dieses Zerspringen sowohl Beschädigungen in den Zügen als auch in den Feldern entstehen können, welche unter Umständen nicht nur das Laden zu erschweren, sondern dasselbe auch ganz unmöglich zu machen vermögen, so wird für diesen, jedoch höchst selten eintretenden Fall,[1] ein Ausreibkolben mitgeführt, der den Zweck hat, die entstandenen Metallauftreibungen in der Bohrung mittelst der an seiner Oberfläche eingesetzten Raspel (Feile) zu beseitigen.

„Die etwa entstandenen Vertiefungen, welche das Schiessen in der Regel nicht beeinträchtigen, können begreiflicher Weise durch das Wegraspeln, also auch durch den Ausreibkolben nicht entfernt werden.

„Die eigentümliche Form der Geschützbohrung erfordert zwei derlei Ausreibkolben. Von diesen wird der mit No. 1 bezeichnete[2]) zum Ausreiben der etwa beschädigten Züge, der mit No. 2[3]) bezeichnete zum Vergleichen der Felder benutzt. . . .

„Sie bestehen beide aus einem hölzernen Kolben, an dem sich eine hölzerne Stange mittelst eines Querstiftes befestigen lässt.

„In der cylinderförmigen Oberfläche dieser Kolben sind Vertiefungen nach dem Drallwinkel des Rohres eingeschnitten und zwar befinden sich im Kolben No. 1 drei den Zügen entsprechende Vertiefungen und im Kolben No. 2 sechs Vertiefungen, die dieselbe Richtung wie die Felder der Bohrung haben.

„In diese Vertiefungen werden federnde messingene Schienen *s* eingelegt, die nach der Dralllinie und der Bohrungs-, beziehungsweise Zugfläche gebogen sind.

„Wenn die Fig. . . .[4]) den Querschnitt der Bohrung vorstellt und man die Züge I, II, III, sowie die Felder mit *a*, *b*, *c*, *d* benennt, so sind die Vertiefungen und die in diese hinein passenden Federschienen des ersten Kolbens beziehungsweise mit 1, 2, 3, hingegen jene des zweiten Kolbens für die Felder *a* und *d* mit 4 und 9, für das Feld *b* mit 5 und 6, endlich für das Feld *c* mit 7 und 8 bezeichnet.

„Zu jeder Federschiene gehört eine Raspel *r* und eine Führungsplatte *p*,

---

[1]) Der sich leider als ziemlich häufig erwies; vgl. S. 166. (Anm. d. Verf.)

[2]) Abb. 27—28.

[3]) Abb. 29—30.

[4]) Abb. 24.

Abb. 27.

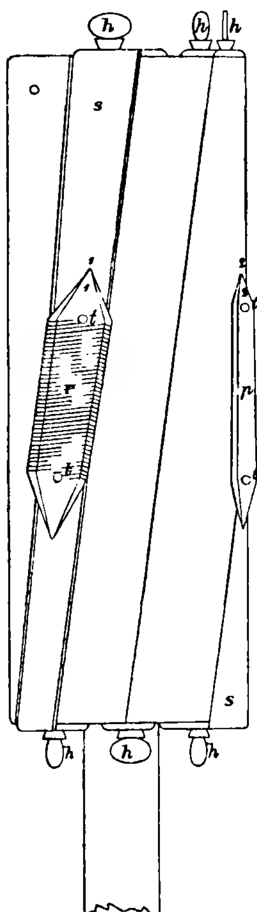
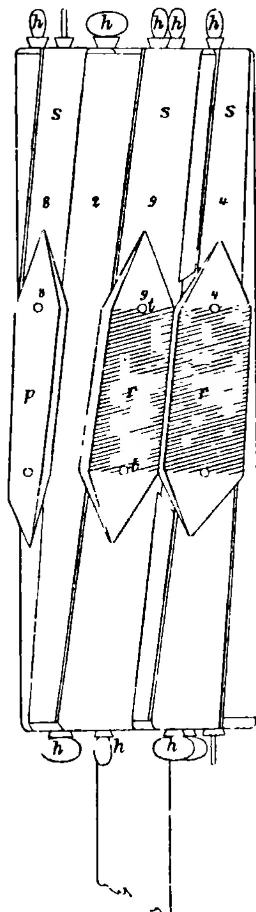


Abb. 29.



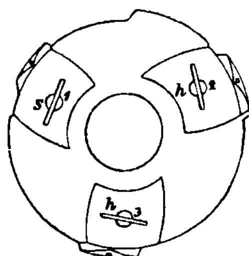


Abb. 28.

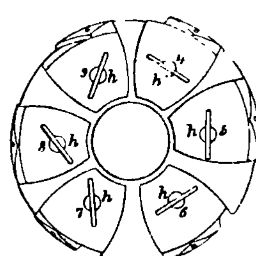


Abb. 30.

Ausreibkolben des v. Lenk'schen gezogenen Schiesswollgeschützes.

deren Bezeichnung jener der Federschiene entspricht. Diese Stücke werden mit je zwei kleinen Schrauben *t* auf den Federschienen befestigt, weshalb jedem Ausreibkolben noch ein Schraubenzieher beigegeben wird.

„Die Raspel 5 und 9 für die Bohrung sind nur an ihrer oberen Fläche, die Raspel 4 aber auch an der gegen den Keilabsatz liegenden Seitenflächen geschärft, während die Raspeln für die Züge an der oberen und an beiden Seitenflächen eingehauen sind. Die Schienen lassen sich mittelst je zwei Spannschrauben *hh* derart spannen, dass sie in der Mitte mehr oder weniger konvex werden.

„Hier sei gleich im Vorhinein bemerkt, dass beim ersten Kolben immer nur eine, hingegen beim zweiten Kolben stets zwei Raspeln auf die entsprechende Schiene aufgeschraubt werden. Die übrigen Schienen werden mit den gleich bezeichneten Führungsplatten versehen. Es wird also ein Zug oder ein Feld nach dem anderen behandelt.

Gebrauch des Ausreibkolbens.

„Soll ein mit den früher angegebenen Mängeln behaftetes Rohr wieder brauchbar hergestellt werden, so bleibt es entweder in der Laffete oder wird, wenn es sich nicht in derselben

befinden sollte, auf ein Gestell ziemlich horizontal und derart gelegt, dass die Mündung auf die Brusthöhe eines aufrechtstehenden Mannes trifft, damit die Mannschaft mit der vollen Kraft des Oberleibes beim Ausreiben wirken könne.

„Das Rohr wird von allen Unreinigkeiten befreit, dann eingeölt und das Wegraspeln der in den Zügen oder Feldern vorragenden Teile von der Mündung an begonnen, sowie die nach einander gegen den Stossboden zu liegenden Beschädigungen der Reihe nach derart beseitigt, dass alle Erhöhungen verschwinden.

„Die Zusammensetzung des Ausreibkolbens ist in so fern verschieden, als für jeden Zug oder Bohrungsteil die dazu passende Schiene oder Raspel aufgeschraubt wird.

„Sind beispielsweise Hervorragungen in den Zügen I und III wegzuraspeln, so werden vorerst auf die Schiene 1 des ersten Kolbens die Zugraspel 1, auf die anderen zwei Schienen jedoch die Führungsplatten 2 und 3 aufgeschraubt, die Schiene entsprechend angezogen und der an der Ausreibstange befestigte Kolben durch zwei Mann in die Bohrung eingeführt.

„Findet ein Stemmen der Raspel oder der Führungsplatten am Mündungsrande statt, so genügt ein Andrücken dieser Teile an den Kolben, um dasselbe zu beseitigen.

„Durch Hin- und Herbewegen der Kolbenstange in der Richtung der Bohrungsaxe werden die im Zuge erhabenen Stellen weggefeilt.

„Die Erhöhung ist beseitigt, sobald die Raspel nicht mehr angreift, was man an dem leichten Gange derselben erkennen wird.

„Ist der Zug I eben und glatt hergestellt, so wird der Ausreibkolben aus der Bohrung gezogen, anstatt der Führungsplatte 3 die Raspel 3 aufgeschraubt, die Raspel 1 gegen die Führungsplatte 1 ausgewechselt und das Ausreiben der Erhöhungen im Zuge III, wie eben erwähnt, vorgenommen.

„Ähnlich verfährt man beim Wegfeilen der Unebenheiten in den Feldern. Wären z. B. auf den Feldern a, c und d Auftreibungen vorhanden, so müssten auf die Schiene 4 und 9 des zweiten Kolbens die Felderraspel 4 und 9, auf die übrigen Schienen die mit ihnen gleichbezeichneten Führungsplatten aufgeschraubt und zuerst das Ausraspeln der Felder a und d in eben derselben Weise, wie vorhin beim Zuge I beschrieben wurde, ausgeführt werden.

„Sind die Felder a und d geebnet, so ersetzt man die gebrauchten Raspeln durch die gleich bezeichneten Führungsplatten, schraubt statt der Führungsplatten 7 und 8 die ihnen zukommenden Raspeln auf und nimmt das Ausbessern der Beschädigungen[1]) in analoger Weise vor.

„Würde man bei normaler Stellung der Raspeln die gebildete Hervorragung im Zuge oder Felde nicht ausgleichen können, so wird die Raspel durch entsprechendes Drehen der Spannschrauben nach Erfordernis aus dem Kolben hervortretend gemacht.

„Beim Einsetzen der Raspel ist darauf zu achten, dass die scharfen Kanten der an derselben angebrachten Furchen gegen den Stossboden gerichtet sind,

[1]) Am Felde c. (Anm. d. Verf.)

wenn der Kolben in die Bohrung eingeführt wird. Dies wird immer stattfinden, wenn man die Spitze, welche die Bezeichnung trägt, gegen jene Seite der Schiene richtet, wo ebenfalls die Bezeichnung angebracht ist.

„Obwohl alle Befestigungsschrauben gleich konstruiert sind, so ist es doch zweckmässig, sie stets in die innegehabten Löcher wieder einzuschrauben, um dadurch ein Überdrehen der Muttergewinde zu vermeiden.

„Der Erfolg des Ausraspelns wird nach Bedarf durch Beleuchtung der Bohrung mittelst eines an einer Stange befestigten Wachskerzchens oder eines Spiegels (bei Sonnenschein) beurteilt."

Es lässt sich nicht verkennen, dass eine so umständliche Reparatur oft auch noch länger als eine halbe Stunde dauern und vor dem Feinde überhaupt nicht ausführbar sein konnte. Da die Rohrkrepierer, wie schon erwähnt, bei der Verwendung von Schwarzpulver-Treibladungen verhältnismässig gar nicht vorkamen, konnte man sie weder den Sprengladungen, noch den Zündern der Geschosse, sondern lediglich der Schiesswolle als Schiesspräparat zur Last legen, und sie erregten wieder vielfache Bedenken gegen das neue Treibmittel. Doch erreichten die Gegner der Schiesswolle zunächst nur, dass die Einführung der Schiesswollgeschütze im Sommer 1862 noch immer als eine probeweise galt und die Artillerie-Truppenteile, welche mit den neuen Geschützen ausgerüstet wurden, trotzdem auch ihre alten Geschütze vorläufig noch in Verwahrung behielten. Da ereignete sich am 30. Juli, um $^1/_4$ 3 Uhr Morgens in Hirtenberg die Katastrophe, welche aus bereits dargelegten Gründen einen tiefen Eindruck machte. Die mit der schon als durchaus gesichert betrachteten Stabilität der Schiesswolle erlebte Enttäuschung öffnete auch Zweifeln an ihren sonstigen guten Eigenschaften die Wege. Vorgenommene Revisionen liessen in Schiesswollgeschützen nicht nur Risse von Rohrkrepierern, sondern auch Auftreibungen und Sprünge auffinden, die durch übermässige Brisanz der Schiesswollladungen entstanden waren.[1]) Die Herstellung neuer Schiesswollgeschütze wurde unterbrochen, und gegen Ende des

[1]) Dass keine völligen Sprengungen der v. Lenk'schen Geschütze vorgekommen, ist wohl hauptsächlich dem schon auf S. 16 berührten Vorzuge der Bronze als Geschützmaterial, im allgemeinen nicht plötzlich und ohne vorherige Anzeichen zu zerspringen, zu verdanken. Aus den eisernen oder stählernen Läufen der Handfeuerwaffen mit Schiessbaumwolle zu schiessen, blieb auch nach den Lenk'schen Verbesserungen höchst gefährlich, und die Gewehrversuche mit Schiessbaumwolle wurden auch in Österreich schon im Anfang der fünfziger Jahre aufgegeben, nachdem sie gerade hier mit grossen Erwartungen begonnen worden; denn österreichische Truppen hatten während der Strassenkämpfe des Jahres 1848 zuerst in grösserem Umfange durch Schiesswoll-Gewehrfeuer zu leiden gehabt, wobei es namentlich stets grosse Schwierigkeiten machte, festzustellen, woher das ohne Rauch abgegebene Feuer kam (vgl. besonders: „Mailand und der lombardische Aufstand im März 1848", Frankfurt a. M., Prag und Wien 1856).

Jahres erfolgte auch der Befehl, Schiesswollkartuschen nicht mehr herzustellen, sondern für die v. Lenk'schen Geschütze, sofern sie noch gebraucht werden könnten, Schwarzpulverladungen zu verwenden. Zu den Geschossladungen und für andere Sprengzwecke behielt man die Schiesswolle noch drei Jahre lang bei, bis nach der zweiten Magazinexplosion bei Wiener-Neustadt ein Befehl vom 11. Oktober 1865 jeder Schiesswollherstellung in Österreich ein Ende machte.

Die Schiessbaumwolle hatte jetzt ihre Rolle auf dem europäischen Kontinent völlig ausgespielt. Schon hatten aber in England Bemühungen begonnen, die zunächst ihre Stabilität ausser Zweifel stellen und ihr als Sprengmittel eine hohe Bedeutung verschafften, und dadurch auch verhindern sollten, dass sie als Schiesspräparat je ganz in Vergessenheit geriet.

VIII.

Die Nitrocellulose von ihrer Wiederaufnahme in England bis zur Erfindung des Vieille-Pulvers.

Dass wir die Nitrocellulose schon wenige Jahre nach ihrer fast allgemeinen und absoluten Verwerfung in den Landarmeen und Marinen der meisten Staaten als Sprengstoff eingeführt finden, und dass sie gleichzeitig wenigstens in Jagdpulvern zu einer nicht mehr unterbrochenen Verwendung gelangt, ist hauptsächlich den Bemühungen des Chemikers des britischen Kriegsdepartements, Prof. Frederick Abel zu verdanken, der schon im vorigen Kapitel als Förderer der v. Lenk'schen Schiessbaumwolle in England genannt wurde.

Als man auf dem Kontinent die Schiessbaumwolle allgemein nur noch als wissenschaftliche Merkwürdigkeit betrachtete, die einer praktischen Verwendung völlig unfähig sei, veröffentlichte Abel' Angaben, die dieser Auffassung auf Grund lange und in grossem Massstabe gesammelter Erfahrungen durchaus widersprachen, und infolge dessen grosses Aufsehen erregten.

Man erfuhr, dass das britische Kriegsdepartement auf Grund mehrerer Jahre hindurch in Woolwich fortgesetzter Versuche die Schiesswolle keineswegs für eine durch ihre Unbeständigkeit vom praktischen Gebrauch ausgeschlossene Substanz halte (Chemical News, 1866, Bd. XIV, S. 18 ff. und 1867, Bd. XV, S. 203 ff.). Die auf dem Kontinent beobachtete angebliche Zersetzlichkeit der Schiesswolle könne man in England nur beigemischten Säurenresten oder mitnitrierten Fremdstoffen zuschreiben; reine Schiesswolle sei vollkommen genügend beständig, gleichgültig, ob sie die höchste, oder eine niedrigere Nitrationsstufe zeige. Schiesswollproben, die man in Woolwich zwei und ein halbes Jahr hindurch dem direkten Tageslicht ausgesetzt, hätten zwar etwas Gas entwickelt, doch bei der Beendigung des Versuches keineswegs eines der von de Luca beobachteten Zer-

setzungssymptome in ihrem Äusseren gezeigt. Andere Proben wären während mehrerer Stunden auf + 90° C. erhitzt worden; sie hätten alle während dieser Zeit nitrose Dämpfe abgegeben; nachdem man sie aber darauf noch zwanzig Monate lang der Einwirkung des Lichtes ausgesetzt, hätten sie keine merkbare Abnahme ihrer explosiven Eigenschaften gezeigt. Mehrere grossen, mit Schiessbaumwolle dicht vollgepackten Kisten wären sechs Monate lang in einem Raume aufbewahrt worden, dessen Temperatur zuerst drei Monate lang auf 49° und dann dieselbe Zeit lang auf 54—55° C. erhalten wurde. Geeignete Anordnungen gestatteten eine periodische Registrierung der Temperatur in den fortwährend geschlossen gehaltenen Kisten: nie zeigte sich in der verpackten Schiesswolle eine Erhöhung der Temperatur über die Lufttemperatur im Aufbewahrungsraume. Um übrigens etwaige trotz aller Sorgfalt von der Nitrierung zurückgebliebenen oder durch unstabile Fremdstoffe entwickelten kleinen Säurenmengen unschädlich zu machen, könne man der Schiesswolle etwas Alkali beimischen, und jede Gefahr bei der Aufbewahrung werde ausgeschlossen, wenn man die Schiesswolle unter Wasser oder, was oft bequemer, nur feucht gelagert aufbewahre.

Um genügend stabile Schiesswolle zu erhalten, brauche man sich lediglich genau an die von Lenk gegebenen Vorschriften zu halten; die Brisanz allerdings werde durch das von Lenk empfohlene Zusammendrehen zu Garn nicht vermindert. An freier Luft sei allerdings das Abbrennen solcher Schnüre ein je nach deren Dichte verlangsamtes; im Ladungsraume einer Feuerwaffe verbrenne dicht gesponnene Schiesswolle nicht merklich langsamer, als nur lose zusammengewundene, da ein noch so dichtes Zusammenspinnen nicht im stande sei, nach dem Abbrennen eines kleinen Teils der Ladung das Durchschlagen der Flamme durch den ganzen Rest zu verhindern. Es ständen indessen zur Verminderung der Verbrennungsgeschwindigkeit der Schiesswolle noch zwei Methoden zu Gebote. Die erste bestehe in einer Verdünnung der Substanz entweder mit einer weniger explosiven Art von Pyroxylin, oder mit ganz unexplodierbaren Substanzen, wie z. B. mit gewöhnlicher Baumwolle; die zweite in einer durch Druck bewirkten Verdichtung der Schiessbaumwolle zu kompakten, homogenen Massen. Durch Einstampfen in Cylinder von starker Pappe oder ähnlichem passendem Material lasse sich Schiesswolle sehr kompakt machen; weit festere Massen würden aber ohne Cylinder und andere Hüllen mittelst eines kürzlich von Abel erfundenen Verfahrens hergestellt, welches wesentlich darin bestehe, die Schiesswollfaser zu einem dem Ganzzeuge der Papierfabriken ähnlichen feinen Brei zu zerteilen und denselben durch Druck in feste Massen von geeigneter Form und Dichtigkeit umzuwandeln. Mittelst dieser Erfindung liessen sich auch beide

Methoden zur Verminderung der Brisanz der Schiessbaumwolle, die Verdünnung und die Verdichtung, sehr gut verbinden.

Durch das von Abel genommene Patent erfuhr man über die in England angewandte neue Methode noch Näheres.

Nach der Patentschrift (Chemical News, Bd. XIV, S. 250 ff.; Dingl. Polyt. Journ., Bd. CLXXXV, S. 154 ff.) bezweckte die Abel'sche Erfindung, die Schiessbaumwolle dem Schiesspulver möglichst ähnlich zu machen, indem diese auf mechanischem Wege in eine feste, zusammenhängende Masse verwandelt und als solche zu Körnern oder zu irgend einer andern Form verarbeitet werde, welche die zur Erzielung einer bestimmten Schnelligkeit der Verbrennung erforderliche Oberfläche und Festigkeit besitze.

Das Verfahren zur Behandlung der Schiessbaumwolle, welchem der Patentträger zur Erreichung des angegebenen Zweckes in der Praxis den Vorzug gebe, sei folgendes. Zunächst werde die Baumwolle mittelst der wohlbekannten Prozesse in Schiessbaumwolle verwandelt, zu welchem Behufe Abel vorzugsweise die Form von losen Lunten (Vorgespunst) anwende. Nachdem das Präparat durch Auswaschen in laufendem Wasser und in einer sehr verdünnten Alkalilösung gereinigt worden, werde es mittelst einer dem Holländer der Papiermaschinen ähnlichen Maschine[1]) zu einem Brei oder Zeug zerkleinert, welcher dann durch die gewöhnlichen Prozesse, mittelst deren man Papierzeug in verschiedene Formen bringe, zu Blättern (Bogen), Scheiben, Cylindern oder anderen durchbrochenen oder massiven Körpern geformt werde. Dem Zeuge oder Breie könne man eine geringe Menge von Gummi oder einem anderen im Wasser löslichen Bindemittel zusetzen. Um der Masse jeden erforderlichen Grad von Dichtigkeit und Festigkeit zu erteilen, unterwerfe man sie in noch feuchtem Zustande dem Drucke hydraulischer oder anderer Pressen.

Zum Körnen der Schiessbaumwolle würden die erwähnten Bogen, Scheiben u. s. w. zu Stückchen von der erforderlichen Grösse zerschnitten, oder das noch Wasser und ausserdem eine geringe Menge Bindemittel enthaltende Zeug werde in ein Gefäss gebracht, welchem man eine

[1]) Abb. 31 zeigt die Grundform des Holländers. In der durch die Wände der langrunden Wanne und die Mittelwand gebildeten Rinne, in welcher die zu verarbeitende Substanz, mit Wasser gemischt, fortwährend kreist, dreht sich eine je nach Bedarf höher oder tiefer stellbare, an ihrer Oberfläche mit scharfen Messern besetzte Walze. Ihre Messer arbeiten gegen eine gleichfalls mit scharfen Schneiden besetzte Sohle („Grundwerk"), wodurch ein Zerschneiden und Zermalmen des verarbeiteten Gutes erzielt wird, das so weit getrieben werden kann, dass die zu kurz gewordenen Fasern keiner Verfilzung mehr fähig sind („totes Zeug" der Papiermühlen). Um die Waschwirkung zu befördern, haben die Schiesswollholländer gewöhnlich auch eine Einrichtung zu kontinuierlichem Wechsel des Wassers während der Operation.

rüttelnde Bewegung erteile, wodurch es sich rasch in Körnchen von verschiedener Grösse verwandele, die dann sortiert werden könnten. Bei diesen mechanischen Prozessen könnten anstatt Wasser auch andere Flüssigkeiten, z. B. Holzgeist, Weingeist, Äther, oder Gemische von diesen Flüssigkeiten, mit oder ohne ein in diesen Flüssigkeiten lösliches Bindemittel zur Anwendung kommen.

Anstatt die ganze Masse der Schiessbaumwolle in Zeug oder Brei zu verwandeln, könne man auch einen Teil derselben in ihrem ursprünglichen Zustande lassen und mit dem Brei in solchen Verhältnissen mengen, dass das Gemenge nach dem Pressen eine feste, zusammenhängende Masse von der erforderlichen Dichtigkeit bilde. Diese feste Schiessbaumwolle

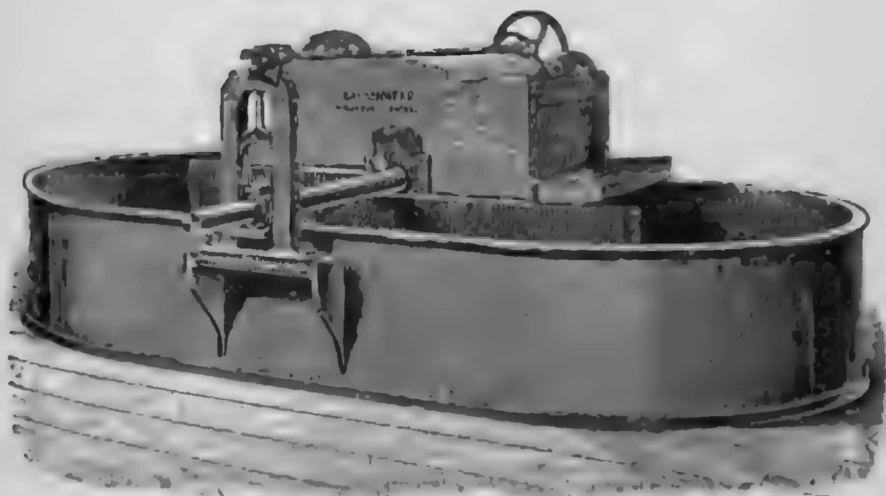


Abb. 31. Schiesswoll-Holländer von F. Krupp-Grusonwerk.

könne, möge sie nur aus Zeug (Brei) allein, oder aus einem Gemenge von diesem mit faserigem Pyroxylin dargestellt worden sein, auch noch mit Kollodium, also mit löslicher Schiessbaumwolle in gelöster Form überzogen oder damit imprägniert werden.

Solche feste Schiessbaumwolle könne auch aus Gemengen mehrerer Schiessbaumwollsorten von verschiedener Zusammensetzung, deren Eigenschaften bekannt seien, d. h. aus Schiessbaumwolle, welche in Gemischen von Alkohol und Äther und in reinem oder mit Alkohol gemischtem Holzgeist löslich sei, und aus Pyroxylin, welches sich in diesen Flüssigkeiten nicht löse, dargestellt werden; in diesem Falle könnten entweder beide oder nur eine von den beiden Schiesswollsorten in Zeug oder Brei verwandelt werden, während die andere ihren faserigen Zustand beibehalte, oder es könnten auch beide Sorten in faserigem Zustande mit einander

gemengt werden. Die Umwandlung dieser Gemenge in feste Massen könne dann entweder durch Druck allein — sofern nämlich eine oder beide Varietäten Breiform hätten — oder dadurch bewirkt werden, dass die in dem Gemenge vorhandene lösliche Schiessbaumwolle durch Behandlung mit den oben genannten als Lösungsmittel wirkenden Flüssigkeiten als Bindemittel benutzt werde, in welchem Falle die Gemenge mit oder ohne die Anwendung von Druck in feste Massen verwandelt werden könnten.

Mit Hülfe dieses Verfahrens sei es dem Patentträger gelungen, die Heftigkeit der Verbrennung des explosiven Präparates in fast jedem beliebigen Grade zu vermindern, und damit die hauptsächlichste Ursache der mit der Verwendung von Schiessbaumwolle zu militärischen und anderen Schiesszwecken verbundenen Gefahr zu beseitigen.

Die im letzten Satze ausgesprochene Ansicht hätte sich vielleicht bewahrheitet, wenn der Erfinder diejenigen Teile seiner Patentschrift, welche von Gelatinierung sprechen, in grösserem Umfange praktisch ausgeführt hätte; leider geschah das nicht, und die nur gemaischte und gepresste Schiesswolle zeigte jetzt ebenso wenig eine genügende Minderung der Verbrennungsgeschwindigkeit, wie bei den analogen französischen Versuchen (S. 170). Im Gegenteil verschaffte sie sich gerade als brisantes Sprengmittel eine grosse Verbreitung, nachdem man an ihr Vorzüge entdeckt, die zuerst der Erfinder selbst in ihr kaum vermutet hatte.

Im Jahre 1868 entdeckte Brown, ein Assistent Abels, dass sich gepresste Schiessbaumwolle selbst an freier Luft, ohne jede feste Einschliessung zu vollständiger und vollkräftiger Explosion bringen lässt, wenn man eine Zündung von genügender Energie anwendet (vgl. S. 161). Damit war der Schiessbaumwolle als Sprengstoff ein viel weiteres Feld eröffnet, als sie es je vordem gehabt hatte. Durch Pressung lässt sich eine Schiesswollmenge leicht auf einen Bruchteil ihres ursprünglichen Volumens reduzieren, was selbstverständlich auch für die Verwendung in Feuerwaffen, ganz besonders aber für die bergmännische Sprengtechnik von Wert ist; denn die letztere muss für jede Anwendung des Explosivstoffes den Ladungsraum neu anlegen und ein Bohrloch herstellen, welches im allgemeinen um so kleiner ausfallen darf, je weniger Raum der Sprengstoff beansprucht. In dieser Hinsicht war die bis auf 1,1 und mehr spec. Gewicht gebrachte Abel'sche Schiesswolle der früheren losen weit überlegen; auch sie zeigte aber anfangs die aus dem vorigen Kapitel bekannte Empfindlichkeit gegen undichten Verschluss, so dass man die Bohrlöcher nach dem Einbringen der Ladung sehr stark verschliessen („besetzen“) musste und bei etwas spaltigem Gestein immer viele unvollständige und wirkungslose Explosionen zu verzeichnen hatte. Durch

Brown's Erfindung fiel dieser Übelstand fort: man brauchte nur etwas teurere Zündungen anzuwenden, was sich aber durch die erzielten Erfolge weitaus bezahlt machte. Bald entdeckte Brown auch, dass sich selbst nasse Schiesswolle stets zu vollständiger Explosion bringen lässt, wenn man eine kräftige Initialladung von trockener Schiesswolle oder einem anderen genügend brisanten Explosivstoff auf sie einwirken lässt. Damit waren auch die Gefahren und Schwierigkeiten beseitigt, die das Trocknen der Schiesswolle vor dem Verbrauch zum Sprengen zu verursachen pflegte, und namentlich für die militärische Sprengtechnik war es von grossem Vorteil, die Schiesswolle jetzt so verbrauchen zu können, wie sie lagerte, und bald gebrauchten fast alle Wehrmächte der Welt nasse Schiessbaumwolle für Zwecke der Geniewaffe. Torpedos, Hohlgeschosse u. s. w.[1])

Alles das war aber erst möglich, nachdem Abel selbst an seinem Präparat eine günstige Folge der Maischung entdeckt, die er, wie aus seiner Patentbeschreibung und den sonstigen Veröffentlichungen hervorgeht, garnicht bezweckt hatte. Die gemaischte Schiessbaumwolle zeigte sich, wie wir bereits wissen, bei weitem stabiler, als solche, die ihre ursprüngliche Struktur behalten. Das wird sofort erklärlich, wenn wir bedenken, dass jede Schiesswollfaser, wie die unveränderte Baumwollfaser, ein Röhrchen ist, das hineingebrachte Flüssigkeit kapillar festhält. Hat man faserige Schiesswolle noch so sorgfältig gewaschen: stets wird sie, wenn man sie im Holländer behandelt, deutlich feststellbare Säurenreste von sich geben. Die gleiche Erscheinung, wenn auch oft in geringerem Grade, zeigen alle Arten Zellstoff von organischer Struktur, da sie stets Hohlräume, in denen sich Säure festsetzen kann, enthalten, und stets ist die Maischung für sie vorteilhaft.

Man hat mehrfach in Form eines Vorwurfes für F. Abel geäussert, das Wesentliche an seinem Verfahren sei nicht neu. In der That haben wir die Maischung schon wenige Jahre nach der Erfindung der Schiessbaumwolle in Frankreich angewendet gefunden: doch erkannte man dort deren wesentlichsten Vorteil nicht. Auch Abel wollte zunächst die Maischung nur anwenden, „um die Schiessbaumwolle dem Schiesspulver ähnlich zu machen" (vgl. S. 206); dann aber erkannte er — und dies ist sein Hauptverdienst — welche Vorteile sie für die Stabilität bietet, und behielt sie bei, trotzdem sie sich bald der zu grossen Brisanz gegenüber als ohnmächtig zeigte und die für Sprengzwecke vorteilhafte Pressung auch ohne sie auszuführen war.

---

[1]) Mit Paraffin getränkte Schiesswolle verhält sich hinsichtlich ihrer Unempfindlichkeit u. s. w. fast wie feuchte und wird zum teil statt der letzteren zum Sprengen gebraucht.

Das durch Abel's Erfolge gewachsene Vertrauen zur Stabilität der Schiessbaumwolle kam natürlich auch ihrer Verwendung als Schiesspräparat zu gute und wirkte auch auf solche Verwendungsarten der Nitrocellulose zum Schiessen belebend, die mit dem Abel'schen Verfahren unmittelbar nichts zu thun hatten.

Wir finden da zunächst Versuche mit „Schichtenpatronen", die nach Aussage ihres ersten Veranlassers Séguier in ihren Anfängen noch in die Jahre 1847 und 1848 zurückreichen, über die er aber erst im Jahre 1864 einige Andeutungen machte (Ber. d. Par. Akad., Bd. LIX, S. 373) und erst noch ein Jahr später nähere Erklärungen gab (Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie, 1865, Bd. XII, S. 633 ff.), die dann eine lange, noch heute nicht durchaus beendete Reihe von ähnlichen Versuchen hervorriefen.

Séguier trat mit den näheren Erklärungen über seine Erfindung hervor, nachdem im Jahre 1864 das Zündnadelgewehr zwar noch nicht so schlagend, wie zwei Jahre später, aber doch schon in einem für alle in ihrer Infanteriebewaffnung zurückgebliebenen Wehrmächte beängstigenden Masse sein Übergewicht über die sonst in Gebrauch befindlichen Waffen gezeigt hatte, und als man auch in Frankreich bemüht war, sich die Vorzüge der preussischen Waffe womöglich noch unter Beseitigung ihrer Nachteile anzueignen. Der Hauptnachteil der Dreyse'schen Waffe bestand, wie schon erwähnt, in dem Mangel eines gasdichten Abschlusses nach hinten, der auch noch heute nicht anders, als durch gasdichte Patronenhülsen in dauernd zufriedenstellender Weise zu erreichen ist. Die französischen Konstrukteure beschäftigten sich also in dieser Zeit vielfach mit der Herstellung gasdichter Patronenhülsen, die jedoch nicht die später aus Gründen konstruktiver Einfachheit allgemein angenommene Zündung der Pulversäule von hinten (unmittelbar durch das Zündhütchen), sondern, dem Zündnadelgewehr entsprechend, Vorderzündung haben sollten. Man schrieb dieser Art Zündung eine Verminderung des Rückstosses der Waffen zu; und thatsächlich bietet die Vorderzündung diesen Vorteil aus zwei Gründen.

Als ersten dieser Gründe nannte man damals den Umstand, dass bei einer von hinten gezündeten Ladung, — namentlich wenn die Zündung wenig energisch sei und die Pulverladung durch ihre Beschaffenheit ein Durchdringen der zündenden Gase erschwere, — stets ein grosser Teil der Ladung auf eine erhebliche Strecke dem Geschoss nachgeschoben werde und dessen Gewicht vermehre, bevor er zur Verbrennung gelange. Als Beweis führte man an, dass es unter besonders ungünstigen Umständen sogar geschehen könne, dass die Verbrennung noch im Augenblick, wo das Geschoss schon den Lauf verlasse, die vordersten Teile der Pulver-

säule nicht erreicht habe, dass also unverbrannte Teile der Pulverladung dem Geschoss nachgeschleudert würden. Spätere Beobachter konnten dieses Auswerfen unverbrannten Pulvers nicht feststellen, und man bestritt später überhaupt entschieden, dass das von Dreyse und seinen Nachahmern behauptete „Nachschieben“ bei der Zündung von hinten in irgend erheblichem Masse stattfinde. Dass es aber thatsächlich unter Umständen in einem sehr unangenehmen Masse stattfindet, kann kaum bezweifelt werden, nachdem Hebler nachgewiesen hat, dass sich einige namentlich bei verschiedenen rauchschwachen Pulvern beobachteten paradoxen Erscheinungen anders garnicht erklären lassen. Hebler schrieb im Jahre 1890 in der „Allg. Schweiz. Militärztg.“ No. 33 und 34, unter dem Titel: „Verbrennung des rauchlosen Kornpulvers bei verschiedener Korngrösse und verschiedener Härte des Pulverkorns“:

„Bei Schiessversuchen mit rauchfreiem Kornpulver sind folgende, auf den ersten Blick ganz rätselhafte Erscheinungen beobachtet worden:

„1. Bei einer gewissen Ladung ergab sich ein bestimmter Gasdruck, sowie eine bestimmte Anfangsgeschwindigkeit. Nahm man etwas mehr Pulver, so ergab sich ein grösserer Gasdruck und dieselbe Geschwindigkeit. Vermehrte man die Ladung wieder, so erhielt man geringere Geschwindigkeit, und, bei nochmaliger Vergrösserung der Ladung, bis zu vollständiger Füllung der Hülse, nahm die Geschwindigkeit noch mehr ab.

„Man dachte nun, die Ladung möge in den letzteren Fällen aus irgend einem Grunde nicht vollständig verbrennen, und legte, um das zu prüfen, weisse Leinwand oder weisses Papier unter die Mündung, bis auf einige Meter vor derselben, in geeigneter Weise, um herausfliegendes unverbranntes Pulver auffangen zu können; man fand jedoch auf der ganzen weissen Fläche kein Korn und kam deshalb auf die Ansicht, das Pulver verbrenne vollständig, bevor das Geschoss die Mündung verlasse.

„Diese durch den Versuch scheinbar ganz gerechtfertigte Schlussfolgerung stand jedoch im grellsten Widerspruch mit der bei vermehrter Ladung konstatierten Abnahme der Anfangsgeschwindigkeit, und machte daher ein Verständnis der erhaltenen Resultate ganz unmöglich.

„2. Man fand, dass die Anfangsgeschwindigkeit je nach der Form und dem Volumen der Hülse eine verschiedene ist, trotz gleicher Ladung und sonstiger gleicher Umstände, also bei Verwendung desselben Pulvers, der nämlichen Korngrösse, desselben Gewehres, desselben Geschosses etc., und trotzdem die Versuche bei gleicher Lufttemperatur stattfanden.

„3. Es ergab sich, dass trotz gleicher Ladung und Verwendung derselben Hülse, sowie unter sonstigen gleichen Umständen, die Anfangsgeschwindigkeit eine verschiedene ist, je nachdem die zwei Zündlöcher im Boden der Patronenhülse, parallel oder divergierend, oder konvergierend zur Axe der Patronenhülse gerichtet sind.

„Diese Erscheinungen zu erklären, ist nun unsere Aufgabe.

„Hierzu müssen wir aber vorerst, wie der Titel dieser Arbeit angiebt, einen Blick auf die Art und Weise der Verbrennung des rauchfreien Kornpulvers werfen, indem wir für die Korngrösse, sowie für die Härte (schwerere oder leichtere Zerdrückbarkeit) der Körner verschiedene Annahmen machen.

„Wir werden dabei, der leichteren Anschauung wegen, drei Korngrössen ins Auge fassen, nämlich feinstes Korn, mittleres Korn und grobes Korn.

„Ferner werden wir uns hartes und weiches Korn denken, also solches, bei welchem die Körner sehr schwer zu zerdrücken sind, und solches, welches durch verhältnismässig geringen Druck zermalmt werden kann.

„In meinem Werke: 'Das kleinste Kaliber, oder das zukünftige Infanteriegewehr',[1]) I. und II. Teil, S. 61 bis 63, wurde bereits die Verbrennung des Schwarzpulvers näher beleuchtet. Ganz derselbe Vorgang findet aber auch bei der Verbrennung des rauchfreien Kornpulvers statt, jedoch nur dann, wenn das Korn klein genug, und die Härte desselben nicht zu gross ist.

„Betrachten wir nun die Sache näher:

„Wir wollen zuerst annehmen, die Hülse sei vollständig mit ganz feinem rauchlosem Pulver gefüllt; dasselbe sei nicht gar zu hart, so dass es keiner allzugrossen Kraft bedarf, ein Pulverkorn zu zerdrücken.

„In diesem Fall wird der Vorgang ganz der nämliche sein, wie der beim Schwarzpulver geschilderte:

„Der Feuerstrahl des Zündhütchens entzündet zuerst nur den zunächst liegenden Teil der Pulvermasse, also die zuhinterst in der Hülse befindliche Partie, und, während der Feuerstrahl sich durch die Zwischenräume der Körner windet, wozu ja eine gewisse Zeit nötig ist, entsteht im hinteren Teil der Hülse, durch Verbrennung des bereits entzündeten Pulvers, ein solcher Druck, dass die im vorderen Teil der Hülse befindliche Pulvermasse, in deren Zwischenräume der Feuerstrahl noch nicht einzudringen Zeit fand, zerdrückt, zermalmt, und dem Geschoss als komprimierter Pulverzapfen nachgeschoben wird. Während dieser das Projektil vorwärts schiebt, dringen die Pulvergase von hinten, verhältnismässig sehr mühsam und langsam, in die äusserst reduzierten Zwischenräume dieses komprimierten Pulvercylinders ein, und bewirken so, dass die hinterste Partie desselben verbrennt, während das Geschoss den Lauf passiert. Beim Verlassen der Mündung wird aber noch ein grösserer oder geringerer Teil dieses Pulvercylinders unverbrannt sein, nämlich der unmittelbar hinter dem Geschoss befindliche, und dieser Pulverzapfen wird nun beim Verlassen der Mündung zerdrückt und zerstäubt durch die aus dem Lauf stürzenden Pulvergase, und die aus sehr feinen Partikelchen (Staub) bestehende Pulvermasse wird dabei, da sie leicht entzündlich ist (bei viel niedrigerer Temperatur als Schwarzpulver), sofort vollständig verbrannt, so dass z. B. auf einer vor oder unter die Laufmündung gelegten weissen Papierfläche nicht die geringste Spur von unverbranntem Pulver zu finden ist.

„Und dennoch ist das Pulver nicht vollständig verbrannt, während das Geschoss den Lauf passierte, sondern erst nach Verlassen der Mündung.

---

[1]) Vorrätig bei: Buchhandlung **Albert Müller** (Orell Füssli & Cie.), Zürich. Preis 5 M.

„Es muss daher die Anfangsgeschwindigkeit in diesem Fall eine Einbusse erleiden, die um so grösser ausfallen wird, ein je grösserer Teil des Pulvers erst nach Verlassen der Mündung verbrennt, mit anderen Worten, ein je grösserer Teil des Pulvers zerdrückt und als komprimierter Zapfen (in welchen die Pulvergase nur sehr schwer eindringen können) dem Geschoss nachgeschoben wird. Es wird und muss daher, wie auch die Versuche bewiesen haben, die Einbusse an Geschwindigkeit eine um so grössere sein, je weicher das Pulver und je kleiner das Korn ist, denn durch die erstere Eigenschaft wird es leichter zerdrückbar, und durch die zweite wird der Feuerstrahl am schnellen Eindringen gehindert, wodurch resultiert, dass der vordere Teil des Pulvers zerdrückt wird, bevor der Feuerstrahl weit nach vorn in die Pulvermasse eingedrungen ist, so dass also ein grosser Teil des Pulvers zerdrückt, als komprimierter Cylinder dem Geschoss nachgeschoben und zum grössten Teil erst nach Verlassen der Mündung verbrannt wird.

„Nun wollen wir annehmen, die Hülse sei wieder vollständig mit ganz feinem rauchlosem Pulver gefüllt; dasselbe sei jedoch sehr hart, so dass das Korn fast nicht zu zerdrücken ist.

„In diesem Fall wird von einem Zermalmen der vorn in der Hülse befindlichen Pulvermasse keine Rede sein können, trotz des im hinteren Teil der Hülse entstehenden hohen Gasdruckes.

„Während nun durch die kleinen Zwischenräume der Körner der Feuerstrahl mühsam und verhältnismässig langsam nach vorn dringt (jedoch bedeutend schneller, als wenn das Pulver zu Staub zermalmt worden wäre), setzt sich das Geschoss, infolge der gegen dasselbe gedrückten Pulvermasse, in Bewegung, und die den vorderen Teil der Hülse erfüllende Partie des Pulvers, in welche der Feuerstrahl noch nicht Zeit hatte einzudringen, wird dem Geschoss als länglicher Zapfen nachgeschoben; derselbe besteht aber jetzt aus fest aufeinander gepressten Körnern, die nicht zerdrückt sind, und deshalb ihre Zwischenräume noch, wenn auch etwas reduziert, behalten haben; in diese dringt nun, von hinten gegen vorn, der Feuerstrahl mehr und mehr ein, während das Geschoss durch den Lauf gleitet, und dieses Eindringen wird, wie leicht begreiflich, viel schneller vor sich gehen, als wenn das Pulver zerdrückt wäre, so dass also der grössere Teil dieses Pulverzapfens schon verbrannt sein kann, wenn das Geschoss die Mündung verlässt.

„Die direkt hinter dem Geschoss befindliche Partie des Pulvercylinders wird jedoch vom Feuerstrahl meist noch nicht erreicht sein beim Verlassen der Mündung; aber auch dieses Pulver verbrennt im Moment, in welchem es die Mündung verlässt, vollständig, indem es durch den nun ungehindert in seine Zwischenräume eindringenden Feuerstrahl entzündet und verbrannt wird. Auch in diesem Fall wird man also kein unverbranntes Pulver auffinden können, und wird daher glauben, es habe eine vollständige Verbrennung im Laufe stattgefunden, während doch thatsächlich ein Teil des Pulvers erst verbrannte, nachdem das Geschoss bereits die Mündung verlassen hatte.

„Man wird also in diesem Fall, d. h. bei Verwendung von sehr feinem und zugleich sehr hartem Korn ebenfalls eine, wenn auch kleinere, Einbusse

an Geschwindigkeit erleiden, weil ein Teil des Pulvers auch erst verbrennt, nachdem das Projektil die Mündung verliess.

„Je grösser das Korn — wir denken jetzt an mittleres und grobes Korn — um so leichter und schneller kann der Feuerstrahl infolge der grösseren Zwischenräume nach vorn dringen, und um so langsamer steigt auch der durch Entzündung der hinteren Pulverpartie entstehende Druck, so dass in diesem Fall, wenn das Korn nicht gar zu weich ist, kein Zerdrücken der vordersten Pulverpartie stattfindet; es verbrennt dann, wenn die Korngrösse eine gewisse Grenze nicht übersteigt, das Pulver vollständig, während das Geschoss den Lauf passiert, und man erhält die volle Anfangsgeschwindigkeit, die mit der betreffenden Ladung erreichbar ist.

„Wir sehen also, dass das Pulverkorn, um seine volle Wirkung äussern zu können, vor allem nicht zu gross, aber auch nicht zu klein sein darf, weil es in beiden Fällen, während das Geschoss den Lauf passiert, nicht vollständig verbrennt, und dass es ferner möglichst hart sein soll, damit es unter keinen Umständen zerdrückt werden kann.

„Eine ganz bestimmte Korngrösse, verbunden mit genügender Härte der Körner, wird also für jede Waffe die besten Resultate ergeben.

„Diese günstigste Korngrösse wird also im allgemeinen für jede Waffe eine andere sein.

„Eine solche ganz normale (günstigste) Verbrennung, wie sie in jedem einzelnen Fall angestrebt werden muss, wird sich also folgendermassen gestalten:

„Nach Entzündung der hintersten Pulverpartie findet der Feuerstrahl — infolge der nicht zu kleinen, aber genügend harten Körner — Zeit, bis zum Geschoss zu gelangen, ohne dass das vorn in der Hülse befindliche Pulver zerdrückt wird. Das Geschoss wird sich kaum nennenswert in Bewegung gesetzt haben (durch die gegen dasselbe gedrängte vorderste Pulverpartie), wenn es vom Feuerstrahl erreicht wird. Es wird somit dem Geschoss kein komprimierter Pulvercylinder (aus Körnern oder aus Staub bestehend) nachgeschoben, in welchen die Pulvergase noch gar nicht eingedrungen sind, — sondern im Moment, in welchem das Geschoss vom Feuerstrahl erreicht wird, und es seine kaum angetretene Bewegung nun durch den Druck der Pulvergase fortsetzt, ist jedes Pulverkorn bereits vom Feuerstrahl umspült, und verbrennt vollständig, bevor das Geschoss die Mündung verlässt.

„So wird und muss eine ganz normale (günstigste) Verbrennung notwendig vor sich gehen.

„Wir haben nun die Vorgänge bei Verbrennung des rauchlosen Kornpulvers, bei verschiedener Korngrösse und verschiedener Härte des Pulverkorns genügend betrachtet und wenden uns nun unserer ursprünglichen Aufgabe zu, nämlich der Erklärung der drei im Anfang dieses Aufsatzes erwähnten rätselhaften Vorkommnisse und Erscheinungen, welche beim Schiessen mit rauchlosem Pulver beobachtet wurden.

„Dass das bisher Gesagte auch für Blättchenpulver gilt, wenigstens unter gewissen Umständen, ist leicht begreiflich.

„Betrachten wir nun jeden der drei genannten Fälle besonders:

„1. Dass bei Vergrösserung der Ladung der Gasdruck im allgemeinen zunimmt, ist leicht begreiflich, weil ja der zwischen den Körnern befindliche Hohlraum kleiner wird, und zugleich die Verbrennungsfläche wächst, wodurch notwendig eine raschere Zunahme des Druckes bedingt wird. . . .

„Dass unter gewissen Umständen (abhängig von der Korngrösse und von der Härte des Korns) eine Vergrösserung der Ladung keine Vermehrung der Anfangsgeschwindigkeit, sondern sogar eine Abnahme derselben zur Folge haben kann, ist jetzt, nach dem vorher Gesagten, leicht begreiflich, wenn man bedenkt, dass bei vermehrter Ladung eine schnellere Druckzunahme im hinteren Teile der Hülse stattfindet, und dass infolge dessen viel schneller ein Zerdrücken der im vorderen Teil der Hülse befindlichen Pulvermasse stattfinden wird und muss, was zur Folge hat, dass eine grössere Quantität Pulver zerdrückt, und dem Geschoss als komprimierter Zapfen nachgeschoben, unverbrannt hinausgeschleudert, und erst hierbei verbrannt wird. Es muss also in diesem Fall notwendig die Anfangsgeschwindigkeit abnehmen, weil eine ziemliche Quantität Pulver ohne Wirkung auf das Geschoss verbrennt, nämlich erst nachdem dasselbe die Mündung verlassen hat.

„Dass man kein unverbranntes Pulver nachweisen konnte, ist begreiflich, wenn man in Erwägung zieht, dass der dem Geschoss als komprimierter Zapfen nachgeschobene Pulvercylinder im Moment des Verlassens der Laufmündung durch den Druck der auf ihn wirkenden Pulvergase zerdrückt und zerstäubt, und durch die dies bewirkenden Pulvergase zugleich verbrannt wird.

„2. Dass die Anfangsgeschwindigkeit, bei gleicher Ladung und unter sonst ganz gleichen Umständen, vom Volumen der Hülse abhängen muss, ist begreiflich, wenn man in Betracht zieht, dass bei Verwendung einer grösseren Hülse der leere Raum im Inneren derselben grösser wird, und dass deshalb, nach der Entzündung des Pulvers, der Druck langsamer steigen muss, und nicht mehr diejenige Höhe erreichen kann, wie bei Verwendung einer kleineren Hülse. Es muss somit, wenn man eine grössere Hülse anwendet, die Verbrennung eine ungünstigere sein, d. h. der Gasdruck und die Verbrennungstemperatur werden weniger hoch ausfallen, und es kann infolge dessen das Geschoss nicht mehr diejenige Anfangsgeschwindigkeit erreichen, wie bei Verwendung einer kleinern Hülse. Je grösser also die Hülse, um so kleiner wird, unter sonst gleichen Umständen, die Anfangsgeschwindigkeit des Geschosses ausfallen, was durch die Versuchsergebnisse vollkommen bestätigt worden ist. — Dabei ist jedoch vorausgesetzt, dass auch bei den kleineren Hülsen, ja sogar bei der kleinsten, die man verwendet (also bei ganzer Füllung der Hülse) noch eine vollständige Verbrennung des Pulvers stattfinde, bevor das Projektil den Lauf verlässt. Findet jedoch bei der kleinsten Hülse (ganze Füllung) infolge Zerdrückens der vorderen Pulverpartie keine vollkommene Verbrennung des Pulvers statt, während das Geschoss durch den Lauf gleitet, so kann, bei successiver Vergrösserung der Hülse und stets gleicher Ladung, die Anfangsgeschwindigkeit zunehmen, weil dann, bei etwas grösserer Hülse, also bei

geringerem Gasdruck, eine vollständige Verbrennung des Pulvers eintreten kann, da dasselbe nicht mehr zerdrückt wird. Vergrössert man die Hülse noch mehr, so nimmt dann, aus den schon weiter oben angegebenen Gründen, die Anfangsgeschwindigkeit wieder ab.

„Dass ferner die Anfangsgeschwindigkeit mehr oder weniger auch von der Form der Hülse abhängig sein muss, bei gleichem Hülsenvolumen, gleicher Ladung und unter sonstigen gleichen Umständen, lässt sich einsehen, wenn wir folgende Betrachtung anstellen:

„Denken wir uns eine Hülse von ganz normaler Form; mit einer bestimmten Ladung erhält man dabei eine gewisse Anfangsgeschwindigkeit; das Pulver möge gerade vollständig verbrennen, während das Projektil den Lauf passiert.

„Bei Verwendung einer ganz kurzen und dicken Hülse jedoch, bei gleichem innerem Volumen, gleicher Ladung, und unter sonstigen gleichen Umständen wie vorher, erhält man ebenfalls, wie bei der normalen Hülse, eine vollständige Verbrennung des Pulvers, bevor das Geschoss die Mündung verlässt, somit auch dieselbe, oder nahezu dieselbe Anfangsgeschwindigkeit wie bei der normalen Hülse.

„Denken wir uns nun eine Hülse von gleich grossem innerem Volumen, jedoch länger und dünner als die normale, so wird bei gleicher Ladung desselben Pulvers und unter sonstigen gleichen Umständen, jetzt, da die Pulversäule länger ist, der dem Geschoss zunächst befindliche Teil des Pulvers noch gar nicht vom Feuerstrahl erreicht sein, wenn das Projektil die Mündung verlässt, und es muss daher ein Teil des Pulvers unverbrannt hinausgeschleudert werden, und ohne Wirkung auf das Geschoss bleiben, so dass dieses also eine geringere Anfangsgeschwindigkeit erhalten wird, als bei Benutzung der normalen Hülse. Dies ist ebenfalls durch die Versuche bestätigt worden.

„3. Sind die zwei im Boden der Hülse befindlichen Zündlöcher, statt parallel zur Hülsenaxe, konvergierend oder divergierend zu derselben gerichtet, so übt dies auf die Anfangsgeschwindigkeit (unter sonst ganz gleichen Umständen) ebenfalls einen gewissen Einfluss aus, und zwar ergaben die Versuche, dass die Anfangsgeschwindigkeit im allgemeinen grösser ausfällt bei Verwendung von konvergierenden, und kleiner bei divergierenden Zündlöchern. Dies lässt sich folgendermassen erklären:

„Bei konvergierenden Zündlöchern konzentriert sich, wie leicht einzusehen, der den hintersten Teil des Pulvers entzündende Feuerstrahl gewissermassen auf einen Punkt, d. h. auf eine kleinere Fläche als bei parallelen oder gar bei divergierenden Zündlöchern, und es wird daher bei konvergierenden Zündlöchern im ersten Moment eine kleinere Pulverquantität entzündet, folglich auch der Druck langsamer steigen, und so der Feuerstrahl Zeit finden, weiter nach vorn zu dringen, bevor sich das Geschoss in Bewegung setzt, resp. bevor ein Zerdrücken der vorderen Pulverpartie eintreten kann; — der Feuerstrahl wird daher von diesem Moment weg eine weniger lange Pulversäule zu durchdringen haben, um bis zum Geschoss zu gelangen, und es wird deshalb eher eine vollständige

Verbrennung des Pulvers stattfinden können, bis das Geschoss die Mündung verlässt, und daher auch eine höhere Anfangsgeschwindigkeit erreicht werden, als im anderen extremen Fall, d. h. bei Verwendung divergierender Zündlöcher.

„Bei divergierenden Zündlöchern — um auch diesen Fall genau ins Auge zu fassen — verteilt sich im ersten Moment der Feuerstrahl auf eine grössere Fläche, d. h. es wird im ersten Moment eine grössere Pulverquantität entzündet, und der Druck muss infolge dessen schneller steigen, so dass sich das Geschoss früher in Bewegung setzt, resp. früher ein Zerdrücken der vorderen Pulverpartie eintritt; es kann in diesem Augenblick der Feuerstrahl noch nicht weit nach vorn gedrungen sein, und er wird deshalb, von diesem Moment weg, einen längeren Weg bis zum Geschoss zurückzulegen haben, d. h. es wird zwischen Feuerstrahl und Geschoss ein längerer Pulvercylinder im Lauf dem Geschoss nachgeschoben, als vorhin, und beim Verlassen der Mündung kann daher die Entzündung nicht so weit gegen das Geschoss vorgedrungen sein, als vorhin, so dass jetzt mehr unverbranntes Pulver den Lauf verlässt als im ersten Fall, oder, mit andern Worten, dass jetzt unverbranntes Pulver hinausgeschleudert wird, während im ersten Fall eine vollständige oder beinahe vollständige Verbrennung des Pulvers stattfand, bevor das Geschoss die Mündung verliess. Es muss deshalb bei divergierenden Zündlöchern die Anfangsgeschwindigkeit im allgemeinen eine kleinere sein, als bei konvergierenden.

„Bei parallelen Zündlöchern liegt das Ergebnis etwa in der Mitte zwischen diesen beiden extremen Fällen.

„Es wäre also am zweckmässigsten, um eine möglichst grosse Anfangsgeschwindigkeit zu erhalten, konvergierende Zündlöcher zu verwenden; da jedoch der Herstellung derselben praktische Schwierigkeiten entgegenstehen, so thut man am besten, die bisher verwendeten, leicht herzustellenden parallelen Zündlöcher beizubehalten.

„Es kann natürlich auch vorkommen, dass man, je nach Verwendung einer kürzeren oder längeren Hülse, und je nach den sonstigen Umständen, auch bei divergierenden Zündlöchern noch eine vollständige Verbrennung des Pulvers erhält, während der Lauf passiert wird. In diesem Fall wird man dann, bei allen drei Arten von Zündlöchern, die gleiche Anfangsgeschwindigkeit erhalten, oder nahezu dieselbe, da dann in allen drei Fällen eine vollständige Verbrennung im Laufe stattfindet.

„Ich hoffe, durch diese Betrachtungen die Vorgänge bei der Entzündung und Verbrennung des rauchlosen Pulvers dem allgemeinen Verständnis näher gerückt, und die drei, im ersten Moment etwas rätselhaften Erscheinungen, die bei den Versuchen beobachtet wurden, genügend erklärt und erläutert, oder wenigstens den richtigen Weg eingeschlagen zu haben, um zum vollkommenen Verständnis derselben gelangen zu können."

In der That ist nach diesen Ausführungen wohl nicht zu bezweifeln, dass bei Zündung von hinten unter ungünstigen Umständen ein ganz erhebliches Zerquetschen und Nachschieben von Ladungsteilen stattfinden

kann. Bei Zündung von vorn kann ein Nachschieben, also eine Erhöhung des Geschossgewichtes und ein Steigen des Rückstosswertes durch andere Verteilung der Kraft auf Geschoss und Waffe (vgl. S. 37) natürlich gar nicht stattfinden, und wenn eine dauernde oder vorübergehende (elastische) Quetschung von Ladungsteilen stattfindet, so betrifft sie hintere Ladungsteile, die dann gewissermassen als Puffer dienen und die rückstossaufzehrende Rolle übernehmen, die sonst oft unbeabsichtigter Weise Teilen der Waffe zufällt (vgl. S. 139—140). Der erstgenannte unter den beiden Faktoren, die den Rückstoss je nach dem Ort der ersten Zündung verschieden gestalten, ist zweifellos weniger erheblich. Schon bei der Besprechung der Meinungen Martin's de Brettes über den Rückstoss bei Schiesswolle und Pulver (S. 140) wurde bemerkt, dass das Gewicht etwaiger in festem Zustande dem Geschoss zugesellten Verbrennungsrückstände nur bei ganz abnorm leichten Geschossen verhältnismässig Erhebliches ausmachen könnte. Nehmen wir an, — was der durchschnittlichen Norm bei den Kriegsgewehren der sechziger und siebziger Jahre unseres Jahrhunderts entspricht, — dass das Gewicht der unverbrannten Schwarzpulverladung etwa $^1/_5$ des Geschossgewichtes beträgt, während die Waffe stets weit mehr als das Hundertfache des Geschossgewichtes wiegt, dass also etwa ein 4 kg schweres Gewehr mit 5 g Schwarzpulverladung ein 25 g schweres Geschoss schiesst, so werden wir, selbst wenn wir annehmen, dass die ganze Pulverladung unverbrannt ausgeworfen wird, — was natürlich völlig unmöglich, da dann überhaupt keine auswerfende Kraft vorhanden wäre, — das relative Geschossgewicht nur von $\frac{25}{4000}$ auf $\frac{25+5}{4000} = \frac{30}{4000}$, also um ein Fünftel vermehrt finden. Die thatsächliche Vermehrung des relativen Gewichtes und dadurch des Rückstosses durch das „Nachschieben“ ist natürlich noch weit geringer, und da sie, wie durch Hebler nachgewiesen, auch bei und gerade bei Nitrocellulosepulvern vorkommt, so kann sie beim Vergleich der Treibmittel dieser Klasse mit dem alten Pulver in Bezug auf Rückstoss kaum als ein Faktor genannt werden; beim Vergleich zwischen einer von vorn und einer von hinten gezündeten Schwarzpulverladung aber macht sie immerhin zu Gunsten der ersteren etwas aus; und als zweiter, wichtigerer Faktor kommt bei dieser die Kraftaufzehrung durch die gequetschten hinteren Ladungsteile hinzu, die — wie man sich durch Versuche, eingeschlossene Pulversäulen durch Hammerschläge auf einen auf sie gesetzten Stempel zu zerdrücken, leicht zu überzeugen vermag — recht erheblich ausfallen kann, so dass sich zweifellos durch die Vorderzündung Vorteile erreichen lassen, die beim Dreyse'schen Gewehr und den unmittelbar nach seinem Vorbild konstruierten Zündnadelwaffen noch dadurch erhöht wurden, dass die Zündnadel nicht unmittelbar aus der Stirnfläche des Verschlusskopfes, sondern aus einem diese über-

ragenden „Nadelrohr“ hinauszuschnellen hatte, also im geladenen Gewehr hinter der Pulverladung eine elastische „Luftkammer“ bestand.

Die französischen Konstrukteure bemühten sich also in der bezeichneten Zeit vielfach um die Herstellung von gasdichten Patronen, in denen das hinten unter Vermeidung eines Anstechens der Patrone erzeugte Zündungsfeuer durch ein axial angeordnetes Röhrchen zuerst gegen das Geschoss geleitet wurde und dann erst von dem letzteren zurückprallend, die obersten Ladungsschichten entzünden sollte. Chaudun ordnete in solchen Patronen auch eine Luftkammer an, indem er in den zu diesem Zweck länger gemachten Hülsen einen Teil des Raumes durch eine durchlöcherte Kartonscheibe, die mit ihrem Rand auf einer Abstufung des Hülseninneren auflag, abschloss (Bulletin de la Societe d'encouragement pour l'industrie. 1865, S. 584 ff.). Durch alle diese Konstruktionen näherte man sich Patronenformen, wie sie Séguier schon in den Jahren 1847 und 1848 im Auge gehabt. Er experimentierte damals mit einem Hinterladungsgewehr mit einsetzbaren stählernen Ladungskammern, in denen gleichfalls ein Röhrchen den Feuerstrahl des Zündhütchens zuerst nach vorn trug; allerdings weniger zu dem Zwecke, den Rückstoss zu mildern, als vielmehr, um aus brisanten und weniger brisanten Explosivstoffen, so z. B. aus Schiesspulver und Schiessbaumwolle zusammengesetzte Ladungen derart zu gebrauchen, dass stets zuerst das den vorderen Teil der Ladung bildende Schwarzpulver gezündet wurde und das Geschoss vortrieb, bevor das Feuer auch die hinten liegende Schiesswolle ergriff. Nachdem leicht in Massen anzufertigende Patronen bekannt geworden waren, die eine Anwendung seiner Idee in grossem Massstabe zu erlauben versprachen, hielt es Séguier für an der Zeit, diese Idee bekannt zu geben.

Da sie theoretisch sehr bestechend ist, wurde sie vielfach mit Ladungsschichten von verschiedener Zahl und Beschaffenheit ausgeführt, und es unterliegt keinem Zweifel, dass man auf diesem Wege grosse Anfangsgeschwindigkeiten mit geringem höchsten Gasdruck erreichen kann; leider ist aber die Anfertigung solcher Patronen eine sehr umständliche und die Wirkung eine höchst unregelmässige. Die Unregelmässigkeit ist, wie der Verfasser dieses vielfach gefunden hat, um so grösser, je vollkommener man die Verbrennung der Ladung der fortwährend wachsenden Geschossgeschwindigkeit anzupassen sucht, d. h. je mehr verschiedene Schichten man anwendet; sie ist wohl hauptsächlich der schwer vermeidlichen Verschiedenheit in der Energie, der angewandten Zündungen zuzuschreiben. Schon bei homogenen Ladungen ist es, wie bereits bekannt, nicht ohne Bedeutung, ob der Zündstrahl tiefer oder weniger tief in die Pulversäule eindringt; noch grössere Verschiedenheiten in der Entwickelung der Explosion werden aber Schwankungen in der Zündungsenergie hervor-

bringen, wenn der tiefer gehende Zündstrahl stets nicht nur mehr von der Ladung, sondern auch schneller verbrennliche Schichten davon entzündet, als der weniger tief eindringende. Aus dem gleichen Grunde sind auch Schwankungen in der Dichte der Schichten von sehr schädlichem Einfluss.

Die Anfertigung der aus verschiedenen Schichten bestehenden Progressivpatronen ist natürlich stets bedeutend schwieriger, als diejenige der Patronen mit homogener Ladung, und gegen die Progressivpatrone mit Vorderzündung spricht natürlich auch die die Umständlichkeit der Anfertigung ihrer Hülsen. Diesen Übelstand hat E. Thiel durch die Idee einer Progressivpatrone mit gewöhnlicher Zündung ebenso einfach als sinnreich beseitigt; leider zeigten aber auch seine (in der Schrift „Das Infanterie-Gewehr“, Bonn 1883, S. 136 beschriebenen) Versuche schon in den ersten Stadien, wie unregelmässig die Wirkung solcher Schichtenpatronen ist. Thiel meinte, bei der fortschreitenden Verkleinerung der Kaliber ohne entsprechende Herabsetzung der Pulverladungen müsse man immer mehr mit einem „Nachschieben“ der vorderen Teile der von hinten gezündeten langen Ladungen rechnen; es sei also nicht aussichtslos, diese vorderen Teile aus einem kräftigeren Explosivstoff, insbesondere aus der nicht mehr als unstabil zu verwerfenden Schiessbaumwolle bestehen zu lassen, damit sie zunächst mit einem Teil des hinter ihnen befindlichen Pulvers vorgeschoben würden und erst nach genügender Vergrösserung des Verbrennungsraumes Feuer erhielten. Es wurden auch in Metz Versuche in dieser Richtung angestellt, indem man aus gewöhnlichen Mauserpatronen des Gewehres M/71 vorn Pulver fortnahm und dafür Schiessbaumwolle hineinlud. Es ergaben nun Patronen mit

4 g	Schiessp.	+ 0,2 g	Schiessb.	ca.	5 %	grössere Anfangsgeschw.	als	Patr.	mit	4,2 g	Schiessp.
4 „	„	+ 0,4 „	„	„	9—10 %	„	„	„	„	4,4 „	„
4 „	„	+ 0,6 „	„	„	10—11 %	„	„	„	„	4,6 „	„
4 „	„	+ 0,8 „	„	„	10½ %	„	„	„	„	4,8 „	„
4 „	„	+ 1,0 „	„	„	10½ %	„	„	„	„	5,0 „	„

und Anzeichen übermässiger Brisanz der Ladungen wurden nicht bemerkt; es zeigten sich aber in den Anfangsgeschwindigkeiten Differenzen bis zu 40 m, während die höchste überhaupt erzielte Anfangsgeschwindigkeit (bei 4 g Pulver + 1 g Schiesswolle) 490 m betrug. Thiel hoffte, dass diese grossen Unregelmässigkeiten in der Verbrennung durch Anwendung von langsam verbrennlichen oder unverbrennlichen Zwischenmitteln zwischen den einzelnen Ladungsschichten, also etwa durch Einlegung von Celluloid- oder Cartonplättchen wirksam zu bekämpfen sein würden; auch der Verfasser dieses war dieser Meinung und versuchte es namentlich mit Plättchen aus Pappe, aus Filz, aus Celluloid und aus einer aus Kollodium,

Leinöl und Korkmehl hergestellten elastischen Masse. Solche Patronen wirken aber womöglich noch unregelmässiger, als Schichtenpatronen ohne Zwischenmittel; es scheint hier noch der Grad der Abdichtung durch die Zwischenmittel und eventuell deren Verbrennlichkeit als wechselnder und die Geschossgeschwindigkeiten stark beeinflussender Faktor zu den anderen Verschiedenheitsquellen hinzuzukommen. Die besten Resultate erhält man noch, indem man die einzelnen Treibmittel — also etwa fein zerteilte Nitrocellulose in verschiedenen Verhältnissen mit Kohlenpulver vermischt — in möglichst feiner Pulverform in die Hülse einbringt und feststampft. Die Verdichtung darf aber nie eine derartige sein, dass die Ladungsschichten feste Körper bilden und beim Schuss nicht mehr genügend gestaucht werden können; in diesem Falle schlägt die Flamme stets zwischen der beim Schusse etwas erweiterten Patronenhülse und der Ladung durch. Man kann sich davon durch einen Versuch überzeugen, der namentlich mit einer Centralfeuer-Jagdpatrone, in welcher das Zündhütchen auf einem in ein Loch des Patronenbodens eingesetzten Ambos sitzt, leicht auszuführen ist. Man entfernt Zündhütchen und Ambos und setzt anstatt des letzteren eine starke, hohle Nadel, wie sie zu medicinischen Injektionszwecken gefertigt werden, in den Patronenboden ein. Sie muss vorn etwa so viel aus dem Patronenboden herausragen, als die Länge der gewöhnlichen Pulverladung beträgt, und hinten einen neuen Ambos für das Zündhütchen bilden. Dann umgiebt man den innerhalb der Hülse befindlichen Teil des Röhrchens bis auf ein kurzes Ende mit in die Hülse vermittelst eines durchbohrten Stempels hineingestampfter weisser Papiermasse. Nachdem diese getrocknet und man sich überzeugt, dass das Röhrchen nicht verstopft ist, setzt man ein neues Zündhütchen auf und bringt in den noch freien Teil der Patronenhülse Pulver und Geschoss. Schiesst man nun und zerschneidet dann die Hülse, so wird man, wenn die Patrone auch noch so genau in die Waffe passte, stets den Papiermasse-Cylinder an den Seiten etwas geschwärzt finden. Daher zeigen auch die mehrfach vorgeschlagenen Progressivpatronen mit in Breiform eingepressten Schiesswollschichten von verschiedenem Stickstoff-Sauerstoffgehalt meistens durchaus keine Anzeichen der erwarteten Progressivität der Verbrennung.

Noch schwieriger und nutzloser ist es, Schichtenpatronen herzustellen, in denen die Schichten nicht flach übereinander liegen, sondern einander cylindrisch umgeben. Man kann z. B. solche Patronen durch Kombination der beiden auf S. 67 beschriebenen Hebler'schen Pressverfahren herstellen, indem man in die Patronenhülse zuerst mit einem Stempel mit starkem Dorn Schiesswolle, dann unter Benutzung eines feineren Dorns Schwarzpulver einpresst; auch hier findet man aber, wenn man statt der Schiesswolle

einfachen Papierbrei einpresst, dass schon die Nachgiebigkeit der Hülsen eine regelmässige Verbrennung unmöglich macht. Nicht nur, dass die Flamme an den Hülsenwandungen durchschlägt; man findet oft auch den äusseren Cylinder zerspalten und zersprengt. v. Lenk versuchte sein Kartuschensystem dadurch progressiv zu machen, dass er seine Holzdosen (vgl. S. 196) aussen nur mit schwach explosiver Schiesswolle umwand, innen aber mit einer Ladung von stärkster Schiesswolle versah, die immer erst nach der Zertrümmerung des Holzcylinders durch die äussere Schiesswolle zur Wirksamkeit gelangen sollte, oder indem er die leergelassenen Holzcylinder zuerst mit starker Schiesswolle umwickelte, dann mit einem Überzug von Papier oder dichtem Zeug umhüllte, und endlich mit Schiesswolle, die durch Verspinnen mit unnitrierter Baumwolle bedeutend verdünnt war, umgab. Die Resultate waren immer sehr unregelmässig.

Viele Schwierigkeiten einer Verwirklichung der Progressivitätsidee umgeht man, wenn man nicht die Ladungen jede für sich als ein Ganzes aus Schichten zusammensetzt, sondern Pulver hergestellt, in denen jedes Korn aus konzentrisch geordneten Schichten von verschiedener Explosivität besteht. Es ist dies in verschiedenen Arten möglich, und der Verfasser dieses hat sogar unter Benutzung einer Körnungsmethode, die in ihrer Anwendung auf gewöhnliches Schwarzpulver jetzt gerade ein Jahrhundert alt ist und auch zur Herstellung von homogenen rauchschwachen Pulvern noch heute mehrfach in Gebrauch ist, Schiesspulver hergestellt, in denen jedes Korn innen aus Schiessbaumwolle und aussen aus Schwarzpulver oder aus Schichten verschieden starker Nitrocellulose bestand.

Die Körnungsmethode „durch Agglomeration" verdankt ihre Entstehung dem Bestreben, Pulver in runden Körnern herzustellen. Schon seit dem XVII. Jahrhundert hat man rundkörnigen Pulvern eine besondere Präzision ihrer Leistungen nachgerühmt; aus zwei Gründen mit vollem Recht. Zunächst kann man von Treibladungen nur dann immer gleiche Leistungen verlangen, wenn sie immer gleiche Mengen Explosivstoff enthalten. Ein Abwägen jeder Ladung ist natürlich höchst umständlich; die Gleichmässigkeit der Resultate des Abmessens aber ist von der Regelmässigkeit des Pulverkorns abhängig. Die modernen „Blättchenpulver", von denen im Späteren die Rede sein wird, lassen sich leider garnicht abmessen; Pulver in Würfel- oder Cylinderform oder in der gewöhnlichsten, altbekannten Gestalt an ihren Ecken und Kanten durch das Polieren in Rollfässern etwas abgerundeter, unregelmässiger Bruchstücke werden zwar abgemessen, das Mass kann aber ziemlich verschiedene Mengen Pulver enthalten, je nachdem mehr oder weniger von den ebenen Flächen der Körner aneinander zu liegen gekommen sind. Diese Lagerung

fällt trotz noch so starken Rüttelns u. s. w. sehr verschieden aus und verursacht ausser verschiedenem Pulvergehalt der Patronen als zweiten Grund einer unregelmässige Wirkung auch eine unregelmässige Verbrennung infolge der verschieden ausfallenden Kanäle für das Durchdringen des Feuers zwischen den Pulverkörnern. Aus diesem Grunde sind selbst durch Abwägung von Ladungen aus Kornpulver von nicht kugelförmiger Form nie so genau gleichmässige Schussresultate zu erzielen, wie unter Verwendung von Treibmitteln, deren Korn die Form des regelmässigsten aller Körper: der Kugel zeigt.

Wegen der Präzision seiner Schussleistungen von altersher berühmt war gegen Ende des vorigen Jahrhunderts das schweizerische Pulver, welches dadurch abgerundet wurde, dass man es, noch feucht, fest in runde Säcke packte und diese auf mit Latten benagelten Tischen herumrollte. Selbst wenn man für das Herumrollen der Säcke maschinelle Vorrichtungen zu Hülfe nahm, erschien dieses Verfahren schon, als die französische Regierung um das Jahr 1775 seine Einführung in Erwägung zog, als für die Bedürfnisse eines grösseren Staates zu wenig ergiebig, und konnte noch viel weniger genügen, als man während der Revolutionskriege wieder an die Herstellung rundkörnigen Pulvers dachte. Weit mehr Aussichten schien ein Verfahren zu eröffnen, welches (nach Bottée und Riffault, a. a. O. S. 247) zuerst durch Barthélemy und Pailliart in einer Pulverfabrik bei Hermitage de Senars im Jahre 1795 angewandt wurde. Nach dem Protokoll, welches der zur Besichtigung des neuen Verfahrens abgesandte Bottée am 6. April 1795 der Direktion der staatlichen Pulverfabriken übersandte, führten Barthélemy und Pailliart eine vollkommene Abrundung von Schiesspulver dadurch herbei, dass sie unter den Sieben, in welchen das Pulver in feuchterem Zustande, als sonst üblich, durch Rütteln gekörnt wurde (vgl. S. 49), doppelte Böden anbrachten, auf denen sich die durch das Sieb fallenden Pulverkörner in dem gleichfalls durchfallenden Pulverstaub wälzten und, indem sie den Staub an ihrer Oberfläche ansammelten, allmählich Kugelform annahmen. Champy, der damals der Direktion des Pulverwesens angehörte, kam auf den Gedanken, das Verfahren dahin zu modifizieren, dass durch Siebe gekörntes, feuchtes Pulver mit dem Pulverstaub zusammen in rotierende Fässer gebracht wurde, in denen dann die Agglomeration stattfand. Endlich suchte Champy das Körnen in Sieben ganz zu beseitigen, indem er in ein rotierendes Fass mit trockenem Mehlpulver durch eine Brause Wasser einführte, so dass jeder Tropfen der Kern eines dann durch Herumrollen in dem Staube anwachsenden, runden Kornes wurde. Zu diesem Zwecke diente folgende Vorrichtung. An einer horizontalen, festen Axe war eine Trommel von 1,5 m Durchmesser und 0,6 m Breite drehbar angebracht. Der eine

Boden der Trommel war bis auf einen Randring von 0,5 m Breite offen, und auf dieser Seite durch einen an der Axe senkrecht befestigten, an den Randring passenden Kreisausschnitt von etwa 140° gestützt, so dass also eine Öffnung von 220° frei blieb. Durch diese Öffnung reichte in das Innere der Trommel ein Wasserrohr hinein, welches von dem Ausflusshahn eines höher gelegenen Wassergefässes ausging. Das in die Trommel hineinragende Ende des Wasserrohres war mit einer Reihe von 24 ganz engen Löchern versehen, welche durch ein der Länge nach geschlitztes Mantelrohr zum Schutze gegen Verstaubung überdeckt werden konnten. Die Trommel war aussen mit Leisten bedeckt, welche einen auf der Trommeloberfläche schleifenden Hammer abwechselnd hoben und fallen liessen, wodurch sich etwa im Inneren bildende Krusten losgelöst wurden. Man brachte zuerst etwa 50 kg Mehlpulver in die Trommel, liess diese sich mit einer Geschwindigkeit von etwa 8 Touren in der Minute drehen, öffnete den Hahn des Wassergefässes, drehte den Mantel des Wasserrohres so, dass die Löcher frei wurden, und liess etwa 5 Liter Wasser durchfliessen. Zu den sofort gebildeten feuchten Körnern brachte man dann noch 50 kg Mehlpulver, um sie sich durch Herumrollen vergrössern zu lassen, und sortierte sie endlich durch Sieben.

Das letzte der drei beschriebenen Agglomerationsverfahren arbeitete am schnellsten, ergab aber, wie auch von vornherein anzunehmen war, Körner von der geringsten Festigkeit. Bei den beiden anderen wurde wenigstens der Kern jedes Kornes stets durch ein Stückchen durch die vorhergehenden Manipulationen verdichteten Pulvers gebildet; auch die so entstandenen Agglomerationspulver zeigten sich aber wenig fest, und stets verursachte die bei allen drei Verfahren nötige grosse Feuchtigkeitsmenge Unzuträglichkeiten: so namentlich schweres Trocknen und Herauskrystallisieren des Salpeters aus dem Inneren der Körner. Auch bemerkte man, dass das agglomerierte Pulver stets verhältnismässig mehr, der übrigbleibende Staub dagegen weniger Kohle enthielt, als in der ursprünglichen Mischung enthalten gewesen, da die Kohle als leichtester der drei Pulverbestandteile am leichtesten an den rollenden Körnern hängen blieb. Aus allen diesen Gründen haben die Agglomerationsverfahren für Schwarzpulver nur eine beschränkte Anwendung gefunden.

In den siebziger Jahren unseres Jahrhunderts wurde, — wie später noch einmal zu erwähnen sein wird, — die Agglomerationsmethode für homogene rauchschwache Pulver sehr beliebt. Sie kann aber auch ohne jede Änderung an den Apparaten zur Herstellung von Pulvern mit verschiedenen Schichten im Korn dienen. Bringt man z. B. in beliebiger Art gekörntes, gelatiniertes oder nicht gelatiniertes, doch noch feuchtes Nitrocellulosepulver mit schwarzem Mehlpulver in eine rotierende Tonne,

so erhält man nach kurzer Zeit ein Pulver, in welchem jedes Korn innen aus Nitrocellulose, aussen aus Schwarzpulver besteht. — Der Versuch ist auch im Kleinen sehr leicht auszuführen, indem man ein beliebiges Nitrocellulosepulver mit Wasser oder einem Lösungsmittel anfeuchtet und in einer Schachtel mit schwarzem Mehlpulver schüttelt. — Statt des schwarzen Mehlpulvers kann man natürlich auch ein Mehl aus schwächer nitrierter Cellulose nehmen, und erhält dann ein rauchschwaches Pulver, dessen Korn einen Kern aus stark explosiver und eine Schale aus schwächerer Nitrocellulose hat. Man kann auch noch eine zweite und dritte Schale von immer schwächerer Explosivität herumgeben, indem man das Verfahren wiederholt. Sollen die Schichten ganz allmählich in einander übergehen, so bedient man sich mit Vorteil der Champy'schen Agglomeriertrommel und lässt, nachdem sich das Korn z. B. aus höchstexplosivem Nitrocellulosemehl zu bilden angefangen hat, kontinuierlich unnitrierte Cellulose in Mehlform durch eine Rinne oder ein Rohr in die Trommel laufen, so dass das Mehl, in welchem die Körner herumrollen, immer schwächer explosiv wird. Schneidet man ein so gebildetes Korn mit einem scharfen Messer durch, behandelt es mit Jod und betrachtet den Durchschnitt unter einem Vergrösserungsglas, so erkennt man an der Färbung, welche von Braun am Mittelpunkt bis zu Blau an der Oberfläche wechselt, die progressive Struktur.

Leider kommt es aber für den Erfolg beim Schiessen nicht nur darauf an, dass das Korn vor dem Schuss eine günstige Struktur und Form besitzt, sondern auch darauf, dass es diese Eigenschaften während des Verbrennens der Ladung behält, und dies ist, wie sich der Verfasser durch viele Versuche überzeugt hat, bei agglomerierten Pulvern nie in einem praktisch wertvollen Masse der Fall. Selbst wenn man bei der Herstellung solcher Pulver aus Nitrocellulose zur Anfeuchtung nur Lösungsmittel gebraucht und sie zuletzt noch mit gelöster Nitrocellulose tränkt, werden sie nicht fest genug, um beim Schuss in solcher Menge unzerquetscht zu bleiben, dass sich ihre progressive Struktur praktisch in einer Herabsetzung der Brisanz äusserte, oder dass wenigstens die runde Körnerform Vorteile für die Präzision brächte.

Festere Nitrocellulosepulver von progressiver Struktur hat der Verfasser erhalten, indem er durch Gelatinierung, Tränkung mit Paraffin o. ä. möglichst flüssigkeitsdicht gemachtes Nitrocellulosepulver der Einwirkung von Mitteln unterwarf, die der Nitrocellulose Stickstoff-Sauerstoff zu entziehen geeignet waren und dies natürlich stets an der Oberfläche der Körner im stärksten Masse thaten. Es wurde also z. B. gelatiniertes und gepresstes Nitrocellulosepulver eine Zeit lang mit Kalilauge behandelt, die ihm an der Oberfläche Salpetersäure entzog (so dass die Lauge schliesslich

neben verschiedenen organischen Auflösungsprodukten Kalisalpeter enthielt). Es ergaben sich Körner, die an der Oberfläche viel geringeren Sauerstoffgehalt hatten, als im Inneren; leider stand aber die Dichte der Schichten im umgekehrten Verhältnis zu ihrem Gehalt an Stickstoff und Sauerstoff: trotzdem die Körner recht fest geblieben waren, liess eine mikroskopische Untersuchung erkennen, dass ihre Oberfläche durch das Eindringen der Lauge sehr porös geworden war, und das Verhalten des Pulvers beim Schiessen zeigte, dass die reduzierten Schichten ziemlich alles, was sie an Verbrennungsgeschwindigkeit durch die chemische Reduktion verloren, durch die Auflockerung ihrer Substanz wieder gewonnen hatten.

Die Bemühungen um Progressivpulver sind noch in die neueste Zeit hinein fortgesetzt worden. Prof. Hebler spricht an mehreren Stellen der neuesten Teile seines „Kleinsten Kalibers" (1891 und 1894) sehr lobend von einem rauchschwachen Pulver, das von Kallivoda erfunden und von ihm (Prof. Hebler) verbessert sei, runde Körnerform besitze und im Gegensatz zu den sonst ausschliesslich in Gebrauch befindlichen homogenen Pulvern an der Oberfläche langsamer, als im Inneren verbrenne; doch ist von einer praktischen Einführung dieses Pulvers bisher nichts bekannt geworden.

Es kann natürlich den Progressivpulvern nicht ohne weiteres jede Zukunft abgesprochen werden; durch die Thatsache aber, dass wir jetzt auch mit reiner höchstnitrierter Schiessbaumwolle ohne übermässige Gasdrücke schiessen können, hat ihre Aussichten sicher nicht vergrössert, und selbst in der Zeit, welche in diesem Kapitel behandelt wird, haben es weder Progressivpatronen noch Progressivpulver zu irgend welcher praktischen Bedeutung bringen können.

Unstreitig die hervorragendste Rolle unter den rauchschwachen Pulvern der zweiten Periode der Nitrocellulose hat das nach seinem Erfinder, dem k. preussischen Artilleriehauptmann Eduard Schultze, meistens so genannte „Schultze-Pulver" gespielt. Es hat sich gleich zu Anfang dieser Periode wenigstens zu Jagdzwecken einen erheblichen Wirkungskreis verschafft und ist nebst manchen anderen Schiesspräparaten, deren Erscheinen nur durch das seinige veranlasst wurde, auch noch heute in Gebrauch. Für die Gesammtgeschichte der rauchschwachen Pulver ist es auch dadurch von hoher Wichtigkeit, dass die bei ihm im Laufe seiner Entwickelung zuerst in grösserem Massstabe angewandte teilweise Gelatinierung der endlich zur Herstellung kriegsbrauchbarer Nitrocellosepulver führenden vollständigen Gelatinierung die Wege geebnet hat.

Ed. Schultze hat im Jahre 1865 in Berlin eine sehr interessante Broschüre „Das neue chemische Schiesspulver" erscheinen lassen, in welcher

er darlegt, wie er zu seiner Erfindung gekommen ist und was er mit ihr bezweckt. Nach dem bisher Ausgeführten wird der Leser im Stande sein, zu bemerken, was von den im Folgenden referierten Ansichten Schultze's heute als zweifelhaft oder auch sogar als völlig widerlegt erscheint: er wird beobachten, dass auch bei dieser Erfindung vielfach ganz andere Ursachen, als diejenigen, welche der Erfinder gefunden zu haben glaubte, zum schliesslichen Erfolge führten; zugleich aber auch, dass hier schon zielbewusstes, wissenschaftliches Vorgehen eine weit grössere Rolle spielte, als bei ähnlichen Erfindungsvorgängen früherer Zeiten.

In der Einleitung zu seiner Schrift führt Schultze zunächst aus, seit einer Reihe von Jahren habe der bedeutende industrielle Aufschwung, der die Folge der Verwendung einer der wichtigsten Kräfte, der Dampfkraft geworden sei, in der Civil- und Militärtechnik so grosse Fortschritte erzeugt, dass man schliesslich allgemein darauf hingeführt worden sei, zu erkennen, wie eine andere höchst wichtige Kraft, welche ihren erheblichen Anteil zu unserer Civilisation dereinst geliefert, die „tragbare Kraft" par excellence, das Schiesspulver, aufgehört habe, auf der Höhe sich zu befinden, die es Jahrhunderte lang eingenommen, und dass sein einziger Ruhm nun nur noch darin bestehe, hartnäckig die Form und die Elemente zu bewahren, welche ihm von seinem Erfinder vor Jahrhunderten zugewiesen worden.

Man hätte geglaubt, seine immer mehr und mehr in die Augen leuchtenden Nachteile in der Industrie dadurch beseitigen zu können, dass man sich bemühte, statt seiner, neue explodierende Gemenge einzuführen; in der militärischen Welt hätte man, um die Schiesskunst zu vervollkommnen, zur Verbesserung der Waffen und Geschosse seine Zuflucht genommen. Für beide Zwecke seien falsche Wege eingeschlagen worden. Indem man danach strebte, für die Minen andere explosive Gemenge zu erzeugen, hätte man die jedenfalls anzuerkennenden Vorzüge des alten Produktes, seine Kraft und Veränderungsfähigkeit vergessen. Indem man in der militärischen Kunst sich allein mit der Vervollkommnung der Waffe beschäftigt, hätte man Seitenhiebe gemacht, statt dem Hauptübel, der rückstandbedingenden Kraft geradezu auf den Leib zu gehen.

Dem Verfasser der Broschüre, der als Artillerieoffizier zuerst vorzugsweise mit der Anfertigung der Waffen beschäftigt gewesen, demnächst dazu berufen worden, in Preussen bei der Schiesspulverfabrikation thätig zu sein, hätte es nicht entgehen können, wie dringend die Erschaffung einer neuen explosiven Kraft gefordert würde; jedoch wäre er hierbei vom Beginn an der Unerlässlichkeit sich bewusst gewesen, dass man nur daran denken könne, etwas Neues auf der Basis der Vergangenheit zu

errichten, das heisst, indem man sich auf das alte bewährte Schiesspulver stützte, so unzureichend es auch im Augenblick sein möge, indem man für das Neue alle guten Eigenschaften des Alten, welche diesem die Existenz von Jahrhunderten verliehen, beibehalte, indem man ferner die Eigenschaften, welche der Fortschritt und die Bedürfnisse der Neuzeit von ihm verlangten, ihm verleihe.

Vor allem von dem gewaltigsten Übelstand des schwarzen Schiesspulvers, von der permanenten Gefahr, welche die ganze Fabrikation begleite, welche der Aufbewahrung der Masse, deren Transport innewohne, angetrieben und mächtig angeregt, habe der Verfasser die Frage sich vorgelegt, ob in dem jetzigen, so aufgeklärten und humanen Jahrhundert es wohl noch ferner gestattet werden dürfe, so viel Menschenleben der permanenten Gefahr, den reinen Zufälligkeiten zu überliefern, nur, um sich „eine tragbare Kraft" zu verschaffen; ob es nicht möglich sei, eine Kombination zu erfinden, welche nicht diesen gewaltigen Übelstand mit sich führe.

Am Ende von zehn Jahren Strebens und Arbeitens sei der Verfasser dazu gelangt, die Aufgabe, die er sich gestellt, zu lösen. Er habe eine neue Kombination erschaffen, eben von derselben Kraft wie das schwarze Schiesspulver, ebenso veränderungsfähig, ebenso geneigt, allen Formen, allen Steigerungen und Abschwächungen an Kraft, wie sie die verschiedenen Zwecke verlangen, zu entsprechen; die aber überdies jeder Gefahr in dem überwiegend längsten Zeitraum der Fabrikation beraubt sei, welche selbst in den grössten Massen ohne Gefahr aufbewahrt werden könne, sei es in den Pulverfabriken, sei es in den Festungen, auf den Kriegsschiffen. Diese neue tragbare Kraft sei von den Parasiten des schwarzen Schiesspulvers, dem Rauch und dem Rückstand, befreit und eigne sich für sämmtliche industriellen und militärischen Zwecke. Wenn noch hinzugefügt werde, dass dieses Produkt wohlfeiler sei als das schwarze Schiesspulver, sofern die Kraftlieferung in Betracht gezogen werde, so würde man zugestehen müssen, dass es dazu berufen sein könne, das alte Schiesspulver überall zu ersetzen.

Diese rationell verfolgte und entdeckte Kombination sei also nicht eine durch den Zufall erlangte Erfindung.

Durch das logische Studium der chemischen Kräfte sei der Verfasser zum Ziel gelangt. Seit dem Beginn seiner Arbeiten habe er nicht aufgehört, denselben Endzweck vor Augen zu haben.

Nun, da die Aufgabe erfüllt, da die Darstellung im grossen Fabrikbetrieb durchgeführt sei, da das Produkt bereits vielseitigen Eingang in das Publikum zu den verschiedensten Zwecken gefunden, glaube der Erfinder es an der Zeit, auch der Mitwelt seinen Gedankengang mitteilen

zu müssen, damit ein Jeder die Wichtigkeit und Notwendigkeit der neuen Erfindung richtig zu schätzen verstehe.

Die vorliegende Broschüre solle die Gründe, welche dem Erfinder das Motiv zu seiner Arbeit gewesen, genau erklären, sie solle den Weg zeigen, den der Erfinder betreten, um zu einem vollendeten Resulte zu gelangen.

Es wird dann zunächst das alte Schiesspulver einer gründlichen Kritik unterzogen.

Die Bezeichnung „Schiesspulver“ falle einem gekörnten Gemenge von Kalisalpeter, Schwefel und Kohle zu; diese Bestandteile wirkten beim Entzünden zersetzend derartig auf einander, dass sich plötzlich eine grosse Menge von gasförmigen Produkten bilde, deren Volumen in diesem Zustande bei einer gleichzeitigen Entwickelung einer bedeutend gesteigerten Hitze das Volumen des gekörnten Gemenges um vieles übertreffe. Werde ein beliebiges Quantum dieses gekörnten Gemenges möglichst hermetisch eingeschlossen und dann entzündet, so werde, da es die Natur der plötzlich entwickelten Gase sei, ein grösseres Volumen einzunehmen, sobald diese überall Widerstand fänden, die Quantität Gase durch die vorhandene Hitze bedeutend an Spannung zunehmen und auf die Umschliessungswände einen Druck ausüben, welcher je nach der Beschaffenheit derselben im Stande sei, die Umschliessungswände bersten zu machen, also eine Sprengwirkung auszuüben, oder, falls eine der Umschliessungswände durch einen beweglichen Körper gebildet werde, diesen fortzuschleudern, also eine Schiesswirkung auszuüben.

Dieser Druck auf die Umschliessungswände sei hervorgerufen durch die Wirkung des Schiesspulvers, sei der Effekt der Kraft, die das Schiesspulver liefere.

Wir hätten es mithin bei dem Schiesspulver mit nichts Anderem zu thun, als mit einer Kraft, welche, je fester sie eingeschlossen sei, mehr und mehr zur Geltung komme, wie etwa die Dampfkraft, wie die Kraft der komprimierten Luft, wie die Kraft des komprimierten Wassers. Sämmtliche Kräfte seien im Stande, die Umschliessungswände zu zerbrechen, sobald der von ihnen ausgeübte Druck stärker sei als jene. Der Vorzug, der dem Schiesspulver angehöre, sei einzig und allein der, dass diese Kraft plötzlich ungeheure Wirkungen zu leisten im Stande sei, sodann, dass sie tragbar sei, dass sie in den verschiedensten Quantitäten an jedem beliebigen Ort verbraucht werden, dass sie bei Zeiten geschaffen werden und ohne besondere Maschine nur durch Heranführen eines Funkens aus dem festen körnigen Gemenge entwickelt werden könne.

Wahrlich eine wunderbare Kraft! Das Schaffen dieser Kraft sei eine grossartige Erfindung gewesen!

Unterwerfe man aber nun diese Kraft einer Kritik, so würde zunächst das Entstehen dieser Kraft, die Fabrikation des Schiesspulvers, der Beurteilung zu unterziehen sein. Man würde feststellen müssen, ob der Tribut, den der Mensch zahlen müsse, um eine solche Kraft zu erzeugen, auch im richtigen Verhältnisse mit dem Gewinne stehe, den er erlange.

Hierbei werde man vor allem konstatieren müssen, dass die Fabrikation des Schiesspulvers eine äusserst gefahrvolle sei.

Es sei hinlänglich bekannt, dass diese Kraft, die dem Menschen so ausserordentlich nutzbar geworden und fortdauernd nutzbar sei, auch Verderben bringend wirke, dass sie oft gewaltiges Unglück erzeuge, wenn sie sich selbst entfessele und ohne den Willen des Menschen sich geltend mache.

Es sei die grosse gewaltige Gefahr, die das gekörnte Gemenge hauptsächlich während der Zeit, dass es entstehe, also während seiner Fabrikation, um sich verbreite, sowie die Gefahr, welche bei grösserer Anhäufung durch den blindesten Zufall herbeigeführt, Schrecken und Verderben um sich verbreiten könne, auf die man als eines der grössten Übel hinweisen müsse.

Die Fabrikation des Schiesspulvers sei eine vom Anbeginn gefahrvolle. Von dem ersten Augenblick an, sobald der Wille, Pulver zu erzeugen, vorhanden, sobald die drei Bestandteile zusammengethan seien, sei die Gefahr für die Arbeiter, für die Umgegend im ausgedehntesten Mass vorhanden, und sie bleibe dieselbe die ganze Fabrikation hindurch, durch alle Stadien dieselbe begleitend.

Die Operationen selbst seien einfach, es seien keine komplizierten Maschinen dazu notwendig; im Gegenteil, die einfachsten Vorrichtungen wie Mühlen, Stampfen, Siebe, Pressen, Trockenapparate genügten; doch alle diese Operationen seien gefahrvoll, da sie nicht etwa das Gemenge in Ruhe beliessen, sondern dasselbe heftigen Bewegungen, Reibungen, Stössen, dem Druck aussetzten, ohne die Anwendung von Mitteln zu gestatten, welche die fortdauernd vorhandene Kraft momentan töten könnten. Die Arbeit, nachdem das Gemenge der drei Bestandteile gefertigt ist, geht darauf hinaus ein Korn zu bilden, die Körnung dem Gemenge zu geben; die ganze Fabrikation des Schiesspulvers drehe sich darum, ein Korn zu bilden, welches fest, dauerhaft, womöglich poliert sei. Durch die Körnung nämlich entständen Zwischenräume bei der Anhäufung des Pulvers und diese seien Veranlassung, dass eine Verbrennung die Auflösung der Masse in Gase fast zu einer momentanen mache. Je mehr die Zwischenräume schwänden, je mehr Partikel an Partikel geführt werde, um so langsamer sei die Verbrennung, um so langsamer die Gasentwickelung. Um diese Körnung zu erzielen, müsse der zu bearbeitende Satz

Pulver über 14 Tage von Ort zu Ort geführt werden, um seiner endlichen Bestimmung entgegen geführt zu werden. Diese Körnung habe sich bisher als unbedingt notwendig erwiesen; vergeblich seien die Versuche gewesen, die danach getrachtet, das Körnen des Pulvers zu umgehen. Würde der gemengte Satz allein sofort verwendet werden können, so wäre die Fabrikation eine rapide zu nennen und die Gefahr nur an einem Orte vorhanden. Indes der gemengte Satz allein, so wie er nach der Mengung sich zeige, könne nicht verwendet werden, weil durch die Bewegung, durch etwaiges Schütteln, die specifisch schweren Teile von den leichten getrennt werden und die Homogenität der Mengung aufhören würde. In der neuesten Zeit, in welcher das Komprimieren des Pulvers zu Kartuschen, — sowohl für Spreng- als Schiesszwecke, — empfohlen und in Anwendung gekommen sei, werde doch nur hierfür gekörntes Pulver verwendet, um ebenfalls sicher zu sein, dass man nicht heterogene Gemenge komprimiere.

Um das Ziel zu erreichen, ein gekörntes homogenes Gemenge aus Kalisalpeter, Schwefel, Kohle herzustellen, seien folgende Arbeiten notwendig, bei welchen andauernd die Gefahr der Explosion vorherrsche:

Die Darstellung der Pulvermasse,
das Körnen,
das Polieren,
das Trocknen.

Die Darstellung der Pulvermasse schliesse die Zerkleinerung und innige Mischung der Materialien in sich.

Es sei der Endzweck, wie schon gesagt, das Körnen des Gemenges. Hierzu sei unbedingt, man möge auf eine oder andere Weise die Fabrikation durchführen, notwendig, eine feste zusammenhängende Masse, eine Art Kuchen (Pulverkuchen) oder eine gestampfte Masse zu haben. Um diese bilden zu können, müsse man bedacht sein, die Selbstentzündung möglichst zu verhüten, was durch Anfeuchten, Übergiessen mit Wasser erzielt werde. Sei man somit in den Stand gesetzt, eine feuchte für die Körnung vorbereitete Masse zu erhalten, so erfolge das Körnen selbst.

Die Körnen, das alleinige Ziel der mannigfachen Arbeiten, unter allen Umständen notwendig, und mit gutem Grund notwendig, sei zugleich das gewaltigste Hinderniss für eine schnelle und weniger gefahrvolle Fabrikation, sei die Ursache für die häufigen Unglücksfälle, die die unvorhergesehenen Explosionen einzelner Teile der Pulverfabriken oder der ganzen Pulverfabrik veranlassten.

Es sei noch nicht erreicht, und auch nicht denkbar, zu erreichen, dass die Körnung des Pulvergemenges ohne Gefahr sich durchführen liesse. Der Zusatz von Wasser, welcher die Gefahr der freiwilligen

Explosion etwas wenigstens in Schranken halte, dürfe gewisse Grenzen nicht überschreiten, weil sonst eine vollständige Lösung des Kalisalpeters eintreten würde.

Der Zusatz von Wasser, soweit er nur irgend zulässig sei, sei an und für sich schon ein Fehler, wenn man die Erzielung eines gleichmässigen Produktes ins Auge fasse. Denn gewisse Teile vom Salpeter würden gelöst, während die anderen fest blieben, die ersteren würden ungleichmässig aufgesogen und daher müsse es im Gemenge mehr oder minder salpeterhaltige Partikeln geben. Würde man dies weiter ausdehnen, so könnte man nicht eine Gleichmässigkeit des Gemenges, nicht die Gleichmässigkeit der Wirkung beanspruchen.

Gehe man die Fabrikation durch, so sei Folgendes zu bemerken:

Es sei im allgemeinen von wenig Belang, ob die Vermengung durch Stampfwerke, oder in Pulvertrommeln oder auf Walzmühlen ausgeführt werde; in den beiden letzteren geschehe sie ganz oder teilweise in trockenem Zustand und die Verdichtung erfolge dann besonders nach vorhergegangenem Anfeuchten durch Walzen oder hydraulische Pressen. Bei Anwendung der ersteren findet mit der Vermengung gleichzeitig das Anfeuchten und Verdichten statt.

Trotz aller Vorsichten, trotz Befolgung der penibelsten Vorschriften — unablässig kämen Explosionen vor, und das Schaffen dieser Kraft koste nicht wenig Menschenleben, bevor sie zur Anwendung kommen könne. Die Explosionen erfolgten ohne Zuthun, ohne Vernachlässigung der Arbeiten durch die damit Betrauten; sie seien in sich selbst begründet, das geringste Staubteilchen von Sand oder Gestein, die geringste Zufälligkeit, deren Entfernung ausserhalb der menschlichen Berechnung liege, führe urplötzlich die Explosion herbei. Die Körnung selbst, sowohl wenn sie in Sieben erfolge, wie die nach Congreve (durch Walzen), welche beide Methoden die am meisten angewendeten seien, sei nicht minder gefahrvoll. Nur die Champy'sche Körnmethode, die jedoch sehr wenig Anwendung finde, bringe weniger Gefahr mit sich, weil fortdauernd in das Pulvergemenge, welches in einer rotierenden Trommel sich befinde, von der Axe der Trommel aus durch ganz feine Löcher Wasser hineingesprengt werde. Hierdurch erhalte das Gemenge Feuchtigkeit, und es sei somit eher möglich, die Explosion zu vermeiden.

Nicht weniger gefahrvoll ist das Polieren oder Glätten, und es sei hierbei sowie bei dem Körnen die leichte Entzündlichkeit der grossen Menge von schwarzem Pulverstaub, welche die Maschinen, Trommeln und das ganze Fabrikgebäude anfülle, die Hauptursache für die mannigfachen Explosionen, welche Jahr aus Jahr ein vorkämen, und den Genuss der Benutzung dieser aus dem Fabrikat resultierenden Kraft sehr trübten.

Man könne aus dem Vorhergehenden ersehen, dass der Prozess der Pulverfabrikation geraume Zeit umfasst. Rechne man zu der Gefahr, die die Arbeiten, die Operationen, wie sie auf einander folgen, fortdauernd begleite, noch die stete Bewegung, das Wegschaffen des explosiven Materials von einem Fabrikationsort zum anderen, so werde man erkennen, dass in der That ein zu grosser Tribut gezollt werden müsse, um eine Kraft zu produzieren, wie die, welche das Schiesspulver besitze.

Vom Standpunkte der Gefahr aus betrachtet sei die Fabrikation des Schiesspulvers total zu verwerfen.

Die Kritik des Schiesspulvers führe zu einer anderen Frage: Was liefert das mit Überwindung so vieler Gefahr wirklich zu Stande gebrachte Schiesspulver an reeller Kraft? Ist diese Kraft im richtigen Verhältnisse zu den Materialien, welche dazu verwendet werden? Werden die Stoffe auch rationell genug ausgenutzt?

Betrachte man das schwarze Schiesspulver in seiner Zusammensetzung, so werde der erste Einblick in die Verbrennungsprodukte erkennen lassen, dass die reelle Kraft in keinem richtigen Verhältnis zu den hierfür erforderlichen Materialien steht. Das bis jetzt fabrizierte Schiesspulver schwanke, wenn man das Sprengpulver hinzuziehe, in der Zusammensetzung zwischen folgenden weit auseinander liegenden Grenzen:

a) Kohle zwischen 9 % und etwa 25 %,
b) Schwefel zwischen 9 % und 25 %,
c) Salpeter zwischen 50 % und 79 %.

Diese Grenzen würden enger, sobald man das Sprengpulver, welches bedeutend mehr Schwefel und Kohle beanspruche, bei Seite lasse; sie fielen dann

a) Kohle innerhalb 9 % und circa 19 %,
b) Schwefel " 9 % " " 18 %,
c) Salpeter " 69 % " " 79 %.

Man ersehe sofort, dass der eigentliche Gehalt des Schiesspulvers, das heisst die reelle Kraft, lediglich durch den Gehalt an Salpeter bestimmt werde. Dies trete noch mehr zu Tage, sobald man darauf Acht gebe, dass die feinen Jagdpulversorten, also diejenigen Sorten, welche die intensivste Kraft besitzen, gerade die höchsten Zahlen an Salpetergehalt nachweisen, dass sie sogar nur zwischen 76 % und 79 % Salpetergehalt variieren. Überall wo der Kohlengehalt und der Schwefelgehalt je über 15 % steige, sei die aus einem solchen Gemenge resultierende Kraft eine höchst untergeordnete, und die Verwendung einer solchen Kraft sei, trotzdem sie Jahrhunderte hindurch benutzt worden, zum Schaden der sie Verwendeten ausgefallen. Das Raisonnement, dass ein so konstituiertes Sprengpulver, — mit viel Schwefel und Kohle, — nachhaltiger wirken

solle, und aus diesem Grunde zu empfehlen sei, sei falsch, wenigstens nur unter einschränkenden Bedingungen richtig, wenn nämlich die Umschliessungswände eine sehr grosse Festigkeit hätten, und dann trete dennoch oft der Fall ein, dass die Kraft des Sprengpulvers bei Bohrlöchern von geringerem Durchmesser ganz und gar nicht ausreiche. Dasjenige Pulver, welches die intensivste Kraft, das heisst, die grösste Spannung der grössten Menge ausdehnbarer Gase liefere, und zwar in der kürzesten Zeit, sei und müsse für alle Fälle das beste Pulver sein. Am meisten nähere sich diesem das beste Jagdpulver, das den meisten Salpetergehalt habe. Die Richtigkeit dieser Behauptung gehe hervor, sobald man die idealste tragbare Kraft, die Schiessbaumwolle, in Betracht ziehe. Die Schiessbaumwolle, kräftig präpariert, mit dem grössten Gehalt an Salpetersäure, entspreche in ihrer Leistungsfähigkeit den höchsten Anforderungen, allen nur denkbaren Wünschen; denn sie zertrümmere unnachsichtig bis in die kleinsten Atome alle Umhüllungen; sie sei ganz und gar Kraft, vom Scheitel bis zur Zehe, ohne Umgebung, ohne Ballast.

Betrachte man die Verbrennungsprodukte des besten Jagdpulvers, so finde man diese zerfallend in:

1) Kraft liefernde Gase,
2) den Pulverdampf,
3) den Pulverrückstand.

Es sei für die hier vorliegende Frage nicht notwendig, die Details dieser Bestandteile anzugeben; es genüge zu wissen, dass die festen Verbrennungsrückstände (Pulverdampf und Rückstand), bedeutend mehr Gewicht beanspruchen, dass sie beinahe oder mehr als $^2/_3$ des gekörnten Gemenges betragen, während in der That nur etwa $^1/_3$ des Gemenges Kraft liefernde Gase bilde. Ob der Rückstand schwefelsaures Kali oder kohlensaures Kali allein enthält, ob darin noch andere Verbindungen zwischen den festen und flüchtigen Elementen vorhanden sind, sei bei der Betrachtung der vorliegenden Frage: „ob auch die zur Fabrikation des Schiesspulvers verwendeten Stoffe rationell genug ausgenutzt würden?“ ebenso unwichtig, als das, wie der Pulverdampf zusammengesetzt ist. Das quantitative Verhältnis sei hierbei entscheidend, dass nämlich wirklich nur circa 1 Drittel des gekörnten Gemenges Kraft liefere, während etwa 2 Drittel aufgedrungener Ballast sei. Es liege in der Konstituierung des schwarzen Schiesspulvers, dass eine so grosse Menge Ballast mit in den Kauf genommen werden müsse. Von dem Salpeter wirke nur der Sauerstoff und Stickstoff, während die auf 100 Teile des Salpeters vorhandenen 38 Teile Kalium auch nicht das Geringste zur Vermehrung der Kraft beitrügen. Rechne man hierzu circa 12 % des Ganzen an Schwefel, welcher ebenso wenig treibende Gase liefern könne, so ersehe man, dass

von vornherein die Hälfte des gekörnten Gemenges teils als Rückstand, teils als Dampf sich von der die Gase bildenden Masse abzweige. Hierzu träten dann noch in Abzug die in der Kohle als nicht reiner Kohlenstoff vorhandenen Beimengungen, sowie die Vereinigung der resultierenden Kohlensäure mit dem Kali, und andere Verbindungen, welche teils den Rückstand, teils den Rauch vermehren. Nur bei sehr festen Umschliessungen, also bei Sprengungen, ergebe sich eine grössere Ausbeute an Kraft liefernden Gasen; aber für solche Zwecke werde das bessere, kraftvollere Schiesspulver nicht verwertet, sondern nur eigens hierfür konstituiertes; bei diesem sei wieder ein zu gewaltiger Überschuss an Schwefel und Kohle und ein bedeutender Mangel an Salpeter die Ursache, dass die Kraft dergestalt verringert sei, dass der Totaleffekt fast gar nicht in Betracht komme, wenigstens gegen die absolute Menge tragbarer Kraft sehr in den Hintergrund trete, dass nur höchstens 22 % des Ganzen kraftliefernde Gase bildeten.

Aus dem Vorangeschickten gehe hervor, dass ein Jeder, welcher schwarzes Jagdpulver kaufe, der doch sicherlich nur dasselbe um der ihm innewohnenden Kraft willen kaufe, $^2/_3$ des Ganzen an Ballast der Kraft zur Liebe in den Kauf nehmen müsse, dass ferner ein Jeder, welcher Sprengpulver kaufe, von 1 Centner gekörnten Gemenges nur 25 bis mitunter 20 Pfund kraftlieferndes Material erhalte, $^3/_4$ bis $^4/_5$ sei für den Sprengzweck unnützer Ballast; die Kraft bedürfe bis zu ihrer Erscheinung und um zur Geltung gebracht zu werden, des 3—4fachen Gewichts an vollständig wertlosen Stoffen.

Die Antworten auf die Fragen: „Was liefert das nach Überwindung so vieler Gefahren wirklich zu Stande gebrachte Schiesspulver an reeller Kraft.“ und „steht diese Kraft im richtigen Verhältnis zu den Materialien, welche dazu verwendet werden,“ könnten nicht zu Gunsten des Schiesspulvers ausfallen. Sie lauteten auf das Bestimmteste: „das nach Überwindung so vieler Gefahren zu Stande gebrachte Schiesspulver liefert eine geringe reelle Kraft, die in argem Missverhältnis mit der Quantität der dazu verwandten Stoffe steht.“

Hieran knüpfe sich unmittelbar die Beurteilung einer dritten Frage: „Ist für den jetzigen Aufschwung der industriellen, sowie der militärischen Anforderungen diese Kraft, so wie sie sich darbietet, ausreichend und durchaus befriedigend?“

Man müsse hierbei die industrielle Seite von der militärischen trennen. Während bei der letzteren bestimmte Bedingungen den sofortigen Übergang zur Verwendung einer neuen Kraft gewissermassen einschränkten, da ja die technische Entwickelung des gesammten existierenden Waffenwesens auf der dem allein in Gebrauch gewesenen schwarzen Schiesspulver

innewohnenden Kraft beruhe, da hierbei das Vorhandene die Wünsche für Verbesserung gewaltig im Zaume halte, könne für die industriellen Zwecke die Kraft absolut ins Auge gefasst und der Beurteilung unterworfen werden. Man werde hierbei von zwei Gesichtspunkten aus die Kritik zu verfolgen haben, nämlich vom ökonomischen und vom sanitätlichen Standpunkte aus.

Vom ökonomischen Standpunkte aus werde die fernere Existenz des schwarzen Schiesspulvers gewaltig bedroht. Das Gefühl hierfür mache sich in der Industrie bereits seit einigen Jahrzehnten bemerkbar; das Streben danach, die Preise des schwarzen Schiesspulvers durch Konkurrenz mit anderen Kraft liefernden Gemengen zu drücken, sei bereits mit Erfolg gekrönt, denn seit diesem Jahrzehnt seien die Preise für Sprengpulver in der That gesunken. Da der Kalisalpeter, das die Preise des Schiesspulvers bestimmende Material, gerade zu dieser Zeit durch eine neue Darstellungsmethode, die Konversion aus Chilisalpeter, billiger geworden, so habe das schwarze gekörnte Gemenge, hiervon den Nutzen ziehend, noch Lebenskraft genug behalten, um, unterstützt durch die Macht der Gewohnheit, seine Nebenbuhler im Schach zu halten und nach wie vor den Sieger zu spielen.

Indes bei der jetzt allgemein herrschenden klaren Auffassung, dass die Industrie und Ökonomie Eins sein müssten, dürfte es nicht lange mehr währen, dass, sobald eine Kraft gefunden sei, welche dieselben, vielleicht gar erfolgreichere Effekte erzeuge und dabei billiger zu beschaffen sei, das schwarze Schiesspulver in der Industrie durch das billigere Material trotz des Jahrhunderte langen Bestehens, trotz der Macht der Gewohnheit verdrängt werde.

Die vermehrten Strassenbauten, die gewaltig vergrösserte Bergwerks-Industrie verzehrten massenweise die Kraft, welche das Schiesspulver besitze, die der Konsument aber teuer genug, viel zu teuer bezahlen müsse.

Bis zur Einführung der Eisenbahnen wäre ja alles, was Industrie heisst, mehr oder minder in der Kindheit gewesen. Bis dahin wäre es gleichgültig gewesen, was die Kraft kostete, für welche jährlich höchstens einige Tausende von Thalern verausgabt wurden. Jetzt aber, seitdem die Strassen oder Eisenbahnen Berge durchschnitten, seitdem der Bergwerksbetrieb zu dem gewaltigen Aufschwung gelangt sei, den er zur Zeit zeige, sei es wahrlich gerechtfertigt, nachzuforschen, „wie ist denn die Kraft beschaffen, welche bisher zum Sprengen verwendet ist, für welche jährlich Millionen und Millionen verausgabt werden, steht die Ausgabe an Geld mit der Einnahme an Kraft im richtigen Verhältnis?"

Es sei unbegreiflich, dass nicht schon lange diese Frage von den Nationalökonomen, von den Finanzmännern schärfer ins Auge gefasst

worden, dass nicht mit aller Energie dafür Sorge getragen worden sei, eine billigere Kraft mit gleichem Erfolg sich zu beschaffen! Die Macht der Gewohnheit allein habe davon zurückgehalten, diese Aufgabe zur Tagesfrage zu machen. Während in allen Industriezweigen Fortschritt an Fortschritt sich reihe, während alle zu verwertenden Handelsartikel im Preise heruntergingen, sei ein Zweig, einer der wichtigsten, ein Handelsartikel, der jährlich mehrere Millionen verschlinge, die tragbare Kraft, auf derselben Höhe des Preises stehen geblieben. Man solle nur daran denken, zu welchem niedrigen Preise die Schwefelsäure herabgedrückt sei — es sei bekannt, dass man die Industrie eines Landes nach dem Konsum an Schwefelsäure beurteile. Diese Fabrikation, die erst einige Decennien alt sei, habe es in dieser kurzen Zeit erleben müssen, dass der Preis pro Pfund Schwefelsäure von 5 Sgr. auf 9 Pf. herabgedrückt sei. Nur das schwarze Schiesspulver, der Repräsentant der tragbaren Kraft, nach dessen grösserem oder geringerem Verbrauch man auch den Reichtum und die Industrie eines Landes abwägen könne, sei und bleibe auf derselben ungerechtfertigten Höhe, die es freilich Jahrhunderte lang behauptet zu haben sich rühmen könne. Dieser einzige Ruhm, den diese Kraft habe, umhülle sie so dicht und enge und habe sie fortdauernd den kritischen Blicken des Publikums entzogen, so dass es endlich Zeit sei, sie mit aller Kraft dieses Nimbus zu entkleiden und zu sehen, wie viel Falsches, nicht Zeitgemässes dahinterstecke.

Unwillkürlich frage man sich: „wie ist es möglich, dass diese Kraft fast allein den veränderten Einflüssen des Fortschrittes hat Widerstand leisten können, woher kommt es, dass nicht Verbesserungen, anders erzeugte Kräfte, die alte schon längst verdrängt haben?"

Die Ursache hiervon sieht Schultze gewiss zum teil mit Recht in der spärlichen Entwickelung des Handwerks der Pulverfabrikation. Es sei kaum von einer Kunst, von einem Wissen in der Fabrikation zu sprechen. Dadurch, dass die Fabrikation des Schiesspulvers wie vor Jahrhunderten so noch jetzt in den Händen von Wenigen belassen bleibe, dass sie der damit verbundenen Gefahr und Furcht vor Explosionen wegen nicht Gemeingut der Menschheit habe werden können; dadurch dass diese Fabrikation fern von jedem bewohnten Ort betrieben, dem öffentlichen Verkehr geradezu entrückt sei, sei der Gedanke der Verbesserung in der Fabrikation stets auf eine sehr geringe Anzahl von Leuten beschränkt geblieben.

Unterwerfe man die Fortschritte, die die Pulverfabrikation gemacht habe, einer Kritik, so erstaune man, dass so Geringes geleistet worden, und die Ursache hierfür sei darin zu finden, dass die Fabrikation ein Handwerk gewesen, und nach wie vor geblieben sei, welches vom Vater

auf Sohn u. s. w. sich vererbt habe, dass dasselbe Rezept, welches weiland „Berthold Schwarz“ diktiert, ohne Veränderung beibehalten sei. Es liege auch jetzt noch grösstenteils ausser der Macht der Fabrikanten, Änderungen einzuführen, aus dem einfachen Grund, weil sie von dem Charakter der Kraft, die sie fabrizierten, absolut nichts wüssten. Für die Fabrikanten bestehe nur die einzige Sorge, das Schiesspulver in derselben Dichtigkeit und Körnergrösse ganz unverändert zu fabrizieren; alles weitere sei für sie ohne Interesse.

Das Schiesspulver sei ein Gemenge aus chemischen Stoffen, und das mehr oder minder umfangreiche Studium der Chemie sei gewiss für jeden, der mit chemischen Stoffen umgehe, notwendig. Vergeblich dürfe man aber bei den Pulvermeistern hiernach anklopfen. Die Naivität gehe so weit, dass dies als durchaus nicht notwendig, als ganz unnütz erachtet werde. — Ja, es sei unnütz, insofern als man Interesse daran habe, dieselbe Kraft für denselben hohen Preis zu verkaufen, und auch nicht um ein Titelchen diese Kraft zu verändern. Wie weit das Festhalten am alt Hergebrachten bei der Pulverfabrikation um sich gegriffen habe, gehe daraus hervor, dass es unsägliche Schwierigkeiten gekostet, bevor die Einführung des aus dem Chilisalpeter umgewandelten Kalisalpeters statt des natürlich in Ostindien sich erzeugenden Kalisalpeters ermöglicht worden. Sie wäre noch nicht erzielt, wenn der Vorteil der Preisermässigung nicht den Haupthebel hierfür geliefert hätte. Jetzt lache man hierüber; aber es sei Thatsache, dass dieser doch wesentliche Fortschritt in der Chemie, der ganz neue Industriezweige eröffnet habe, an der Unwissenheit, Ängstlichkeit der Pulverfabrikanten, an der Macht ihrer Gewohnheit, nur ostindischen Kalisalpeter zu verwenden, beinahe hätte scheitern können. Zum Glück wären einige Aufgeklärte vorhanden gewesen, die das Richtige erkannten; diese schritten voran und die Fabrikanten folgten gezwungen. —

Solche Zustände sind heute fast völlig verschwunden; in der staatlichen wie in der privaten Pulverfabrikation herrscht ein wissenschaftlicher und fortschrittsfreudiger Geist; vor dreissig Jahren war aber Schultze's Schilderung der Zustände in der „Pulvermüllerei“ gar nicht so übertrieben pessimistisch. —

Auf die Zusammensetzung des schwarzen Schiesspulvers zurückgehend, führt Schultze aus, wie fatal es sei, dass der Sauerstoff und Stickstoff, der zur Entwickelung der Kraft im Schiesspulver diene, an eine Basis gebunden sei, welche in der That nicht zu den billigsten gehöre; in dem salpetersauren Kali sei es das Kali, welches keine Kraft liefere, welches aber den Preis des Salpeters gewaltig erhöhe. Dieselbe, sogar eine grössere Quantität an Sauerstoff und Stickstoff finde man in dem salpetersauren Natron an eine um vieles billigere und überall sich vorfindende

Basis, das Natron gebunden. Sämmtliche Natronsalze seien billiger als die analogen Kalisalze; dennoch müsse das Schiesspulver dazu verurteilt bleiben, nur durch Vermengung des teuren Kalisalzes mit Schwefel und Kohle zu entstehen, und die Industrie, welche doch nur die Kraft ausnutze, müsse zu diesem Ende den hohen Preis für das Kali mit bezahlen, das teuere Kali mit in den Kauf nehmen, welches dann wertlos an den Gesteinswänden der Strassen oder im Inneren der Gruben kleben bleibe. Es seien zwar vielfach Versuche angestellt worden, Natronpulver zu fabrizieren, und Mittel aufgesucht, um die Begierde des Natronsalpeters, Feuchtigkeit anzuziehen, zu vernichten, und hierdurch das Sprengpulver vor Verderben zu schützen, allein sie seien ohne Resultat geblieben.

Eine andere in der Fabrikation des Schiesspulvers begründete aber freilich notwendige Verschwendung liege in der Verkohlung des Holzes. Das Holz besitze Kohlenstoff und Sauerstoff als Hauptmenge (circa 90 %), der Rest sei Wasserstoff. Das Schiesspulver bedürfe des Kohlenstoffes. Um denselben zu erzeugen, müsse aus dem Holz mit Anwendung von Hitze und Verwendung bedeutender Brennmaterialien sämmtlicher Sauerstoff und Wasserstoff wenigstens bis auf ein Minimum des Vorhandenseins derselben herausgetrieben werden. Später müsse zur Verbrennung und Erzeugung der Explosion wieder Sauerstoff hinzugefügt werden. Die Konstituierung des schwarzen Schiesspulvers verlange also strikte, dass der Kohlenstoff möglichst pure zur Verwendung gelange, daher müsse der vorhandene Sauerstoff fortgejagt werden, und anderer Sauerstoff aus dem Kalisalz werde herbeigeholt. Das sei eine nur durch die Länge der Zeit sanktionierte, im Grunde aber falsche Benutzung der Stoffe; denn es scheine dem Verfasser richtiger, die in Holz schon vorhandenen 50 % Sauerstoff auch sogleich zur Verwertung herbeizuziehen.

Es sei also sicher geraten, darauf hinzuarbeiten, unter allen Umständen eine wohlfeilere tragbare Kraft dem Publikum zur Verfügung zu stellen.

Wende man sich nun zur Beurteilung der Frage vom sanitätlichen Standpunkt aus, frage man, ob das bisher verwendete gekörnte Gemenge den Zeitverhältnissen entspreche, ob es auf der Höhe der Jetztzeit stehe, so müsse man auch hier entschieden mit „Nein!“ antworten. Hier sei die Zuziehung des Schwefels, die bei der bisher üblichen Fabrikation von Schiesspulver unumgänglich notwendig sei, die Veranlassung für die Klagen, welche gegen das schwarze Schiesspulver mit Recht erhoben würden. Von den zur Bereitung des Schiesspulvers verwendeten Materialien seien das Kalium und der Schwefel diejenigen Elemente, welche nichts zur Gasmenge lieferten, welche nur zur Erhöhung des Hitzgrades beitrügen. Für diese Thätigkeit würden sie jedoch sehr lästig; namentlich

seien es die entstehenden Verbindungen zwischen dem Schwefel und dem Sauerstoff, also zwischen den verschiedenen Oxydationsstufen des Schwefels mit dem Kali resp. die Verbindung der beiden Elemente des Schwefels und des Kaliums direkt mit einander, welche durch den scharfen, die Lungen und die Respirationsorgane heftig angreifenden Geruch und Geschmack nachteilig auf die Gesundheit der Arbeiter, besonders an solchen Orten, wo kein genügender Luftwechsel stattfinde, einwirkten. Überdies entstehe in solchen an Luftwechsel armen Orten durch die specifische Schwere des Pulverdampfes, welcher grösstenteils aus flüchtigen schwefelsauren und kohlensauren Kaliverbindungen bestehe, eine Verfinsterung der gewöhnlichen Atmosphäre dergestalt, dass mitunter bedeutende Zeiträume vergehen müssten, bevor die begonnene Sprengarbeit fortgesetzt werden könne. —

Was die Anforderungen der Jetztzeit in militärischer Hinsicht an die tragbare Kraft angehe, müsse man ersehen, dass mit nicht geringerer Gewichtigkeit die Unzulänglichkeit des schwarzen Schiesspulvers für die neuen Schiesswaffen sich kund gebe.

Das Vorhandensein des Kaliums in dem die eigentliche Kraft liefernden Salpeter und das als notwendig sich erweisende Hinzufügen von Schwefel zu dem Gemenge bildeten auch hier die Ursache zu den Klagen, welche vornehmlich seit der Einführung der gezogenen Waffen gegen das alte Schiesspulver laut geworden seien.

Bei der Konstruktion der glatten Waffen hätte man, da das vor Zeiten ganz und gar ausreichende schwarze Schiesspulver die Basis für dieselben abgab, schon darauf Bedacht genommen, dass bei längerem Schiessen aus glatten Waffen eine mehr oder minder starke Pulverkruste an den Wandungen des Rohres sich bildete, und die Durchmesser der Kaliber etwas grösser gemacht, als die Durchmesser der Geschosse es verlangten. Es wäre der sogenannte Spielraum eingeführt, eine lästige Zugabe, welche auf das richtige Treffen sehr nachteilig einwirke, die aber unbedingt notwendig würde beim Gebrauch der einzig und allein vorhandenen tragbaren Kraft.

Dieser Spielraum müsse gewissermassen systematisch gegen jede Regelmässigkeit der Wirkung auftreten und thue es auch gewissenhaft; er wäre einstmals von der Artillerie und Infanterie der Armeen adoptiert und sei auch gegenwärtig noch in allen Artillerieen der Welt bei den glatten Geschützen vorhanden, trotzdem man das Hauptziel, die regelmässige Wirkung, das gute sichere Treffen, zu erreichen unablässig bemüht sei. Welche anderen und wie viel bessere Resultate zu erzielen sein würden, selbst mit glatten Waffen, sobald der Rückstand des Pulvers verschwinden, die Belassung eines Spielraumes daher nicht notwendig

sein würde, — das sei sämmtlichen Artilleristen klar und verständlich, und es „lache einem jeden das Herz im Leibe bei diesem Gedanken."

Welche Summen seien ausgegeben für das Bestreben, eine gut-treffende Artillerie, ein sicheres Feuergewehr zu schaffen, welche Zeit habe hierauf verwendet werden müssen, bis endlich das gezogene Feuergewehr, die gezogene Kanone aus der mühevollen Arbeit hervorgegangen sei! Welchen gewaltigen Veränderungen seien die Geschosse zu diesem Zweck unterworfen worden; Alles doch nur zu dem einzigen Zweck, gut und sicher schiessen zu können! Von den drei Faktoren, die auf das gute und sichere Schiessen einwirkten, habe man zwei fast völlig umgeformt; der dritte Faktor, die wirkende Kraft, sei dieselbe geblieben, keine Veränderung habe sie berührt, ihre Fehler, ihre Schwächen nehme man fortdauernd mit in den Kauf!

Nachdem ein neues Feuergewehr, eine neue Artillerie ohne Spielraum geschaffen sei, höre man dieselben Klagen über den unangenehmen Rückstand, ja sogar in weit grösserem Mass, denn derselbe werde unerträglich, so dass er mitunter auf Zeiten das Schiessen unterbreche.

Wie für die industriellen Zwecke der Pulverdampf und Pulverrauch einer der lästigsten Gefährten des schwarzen Schiesspulvers sei, so gehöre auch für die militärischen Zwecke diese Zugabe nicht zu den erfreulichsten und angenehmsten; denn überall, wo der Rauch die freie Aussicht hindere, werde er das Schiessen hindern. Es würden mitunter Fälle eintreten, wo er andauernd vor den Geschützen liegen bleiben und, abgesehen davon, dass das weitere schnelle Schiessen dadurch unmöglich gemacht sei, dem Feind sogar das Mittel zu überraschenden Angriffen bieten würde. —

Alle diese zahlreichen und schweren Mängel des alten Pulvers sollen nun beseitigt werden; keinesfalls aber unter Verzicht auf die guten Eigenschaften, welche das alte Pulver auch besitzt. Der Verfasser weist wiederholt darauf hin, dass eine Veränderung des Schiesspulvers nur in dem Sinne aufgefasst werden könne, dass das Gute des alten Schiesspulvers zu bewahren sei. Es sei daher unbedingt notwendig, dieses Gute des schwarzen Schiesspulvers sich zu vergegenwärtigen und es anerkennend hervorzuheben. Die einfache Thatsache, dass das schwarze gekörnte Gemenge mehr als fünf Jahrhunderte hindurch seine Existenz behauptet habe, weise darauf hin, dass doch wohl manches Anerkennungswerte in ihm vorhanden sein müsse. Wenn auch die Welt ihre Ideen nach dieser plötzlich geschaffenen tragbaren Kraft gerichtet und gemodelt habe, so müsse doch der Charakter dieser Kraft den Zeitverhältnissen, dem Hauptverlangen immer entsprochen haben, und Jahrhunderte hindurch müssten die diese Kraft benutzenden Menschen mit dieser Kraft an und für sich

zufrieden gewesen sein. Es würde sich also zuvörderst darum handeln, wenn man etwas Neues schaffen wolle, den Charakter dieser Kraft vor allem zu bewahren, ihn beizubehalten, ihn dem etwaigen neuen Material zu verleihen. Dazu sei es notwendig zu wissen: „worin besteht die Haupttugend des schwarzen Schiesspulvers, wie ist das Charakteristische in der Kraft des schwarzen Pulvers zu erfassen?"

Wenn man die Eigenschaften, das Besondere eines Gegenstandes genau heraus erkennen wolle, so biete der Vergleich mit Analogem am besten die Mittel dar, die Vorzüge, die Schwächen des betreffenden Gegenstandes zu erforschen. Um daher die Haupttugend des schwarzen Schiesspulvers, das Charakteristische, die Menschen Veranlassende, zu der alten bewährten Kraft immer wieder zurückzukehren, sie auch in der Jetztzeit noch zu hegen und zu pflegen, zu erkennen, thue man gut, dieses Schiesspulver mit den gegen dasselbe auftretenden Konkurrenten in Vergleich zu bringen, beider Vergleichsobjekte Vorzüge und Schwächen zu betrachten, und daraus die Tugenden des schwarzen gekörnten Gemenges herauszufühlen.

Die Mehrzahl der Präparate, die mit dem Schwarzpulver konkurriert haben, verwirft der Verfasser von vornherein aus den auch in den ersten Kapiteln dieses Buches entwickelten Gründen. Als ernstliche Konkurrentin des alten Pulvers erscheint ihm nur die Schiessbaumwolle, von der es wirklich eine Zeit lang geschienen habe, als solle sie das alte Pulver in kürzester Frist völlig verdrängen.

„Die Schiessbaumwolle! Wer von den zur Zeit der Erfindung derselben die Chemie und ihre Fortschritte beobachtenden Mitmenschen erinnert sich nicht der gewaltigen Aufregung, die damals Europa, die ganze Welt, durchschüttelte! Eine neue Kraft ist entdeckt worden, eine neue tragbare Triebkraft, welche die Wirkung des schwarzen Schiesspulvers um Vieles übertrifft, welche weit billiger ist, welche über kurz oder lang das Schiesspulver verdrängen wird! So hiess es allgemein und überall; die kühnsten Hoffnungen belebten selbst solche in die allgemeine Lethargie Versunkenen, welche ihr ganzes Leben lang mit Schiesspulver Bomben werfen oder mit Schiesspulver Kugeln aus Spielraumgeschützen hatten schleudern lassen. Es war alles von oben bis unten schiessbaumwolldürstig; nun stürmte alles auf diesen rettenden Engel in der Not los!

„Allein die rettenden Engel erscheinen der Menschheit nicht mehr so ganz ohne Zuthun derselben, ohne Arbeit, ohne Nachdenken, ohne tiefes inniges Studium. Diese Zeiten sind vorbei, sie gehören in die Vergangenheit, welche das schwarze gekörnte Gemenge damals urplötzlich der Menschheit soll verliehen haben, sie gehören in das Reich der Mythe. Nach dem ersten allgemeinen Freudenrausch, als erst erkannt wurde, dass trotz der scheinbaren Leichtigkeit der Darstellung der Schiessbaumwolle, dieses Präparat gewisse Tücken besitzt, welche ein genaueres Studium, um sie zu durchschauen, erfordern. wurde von

den verschiedenen Staaten die Darstellung, die Anwendung dieser neu erfundenen tragbaren Kraft angeordnet, und mit möglichster Energie Jahre lang verfolgt. — Wie sehr das Bedürfnis nach einer für die Jetztzeit geeigneteren tragbaren Triebkraft vorhanden ist, das hat diese mit wildem Enthusiasmus aufgenommene Erfindung der Schiessbaumwolle so recht klar und vollständig erwiesen; wie sehr es gerechtfertigt, ja sogar unbedingt Notwendigkeit ist, einen jeden einigermassen guten Gedanken für das Schaffen einer neuen besseren Triebkraft aufzunehmen, ihn zu prüfen und darauf möglichst weiter zu bauen, dafür spricht der Jubel, mit dem die blosse Möglichkeit damals aufgenommen wurde, dass eine neue, eine bessere tragbare Kraft existiere; dafür spricht die Hartnäckigkeit, mit der die Ermöglichung des Sieges der Schiessbaumwolle über das Schiesspulver herbeigezogen werden sollte.

„Die Schiesswolle wurde gefertigt nach der Vorschrift des Erfinders. Sie wurde für die Zwecke, zu denen das Schiesspulver verwendet wird, herangezogen, sie wurde nach allen Richtungen geprüft, und — ist jetzt dazu bestimmt, dem Reich der Vergessenheit anheimzufallen, wenigstens als tragbare Kraft für die industriellen und militärischen Zwecke; von dem ganzen grossen gewaltigen Pomp, mit welchem sie auftrat, nachdem sie das Licht der Welt erblickte, ist nichts übrig geblieben, als höchstens das dünne Membranhäutchen des aus ihr hervorgegangenen Kollodiums.

„Es ist traurig, aber wahr! Je trauriger und wahrer es aber ist, um so notwendiger wird es für denjenigen, welcher von der Unerlässlichkeit erfüllt ist, dass eine neue tragbare Kraft, geeigneter für die Anforderungen der Jetztzeit, geschaffen werden müsse, darüber sich klar zu werden, welche Gründe gegen die allgemeine Einführung, gegen den Sieg der Schiessbaumwolle über das Schiesspulver sich geltend gemacht haben, welche Ursachen das zu Grabe tragen der Schiessbaumwolle herbeigeführt haben. Bei dieser Betrachtung werden wir die Tugenden des schwarzen gekörnten Gemenges in vollem Lichtglanz erkennen und der Entscheidung der Allgemeinheit, die Schiessbaumwolle zu verwerfen, mit vollem Beifall beipflichten.

„Die Schiessbaumwolle ist eine zufällig gefundene Kraft, die so isoliert, so ausser allem Zusammenhang mit dem Bestehenden, mit dem durch die Welt Gebotenen steht, dass schon hierin der Grund für ihre blos ephemere Erscheinung gegeben ist. Wäre die Schiessbaumwolle zur Zeit der Erfindung des Schiesspulvers statt dieses entstanden, so unterliegt es keinem Zweifel, dass man sie sofort benutzt hätte, dass auf der Basis dieser tragbaren Kraft alles, was hierauf Bezug hat, konstruiert, erschaffen wäre, dass die ganze industrielle und militärische Welt, soweit sie sprengt oder schiesst, danach gemodelt worden wäre. Wie unendlich verschieden würde, wenn man dieses Bild sich ausmalt, die Entwickelung des Waffenwesens auf der Basis der Schiessbaumwolle von dem jetzt vorhandenen System ausfallen! Und je mehr das durch die Phantasie erzeugte Bild von dem in der Wirklichkeit vorhandenen verschieden ist, um so mehr verschwindet die Berechtigung der Schiessbaumwolle, als ersetzende Kraft für das Schiesspulver aufzutreten; die Verwandtschaft zwischen den beiden

miteinander rivalisierenden Kräften liegt zu weit auseinander, nur denselben Gattungsnamen „Kraft“ führen sie beide; ausser diesem giebt es keine beiden gemeinschaftliche Eigenschaft, keine Brücke des Überganges von der einen zur anderen.

„Eine der unschätzbarsten Tugenden des schwarzen gekörnten Gemenges ist die Biegsamkeit, die Geschmeidigkeit der in ihm vorhandenen Kraft, es ist die ihm innewohnende Fähigkeit, sich für verschiedene Zwecke verändern zu lassen. Würde das schwarze Schiesspulver diese nicht besitzen, würde es nicht möglich sein, je nach den verschiedenen Anforderungen verschiedenartig konstituierte Kräfte zu bilden, also um in die Praxis überzutreten, verschiedene Sorten Jagdpulver, verschiedene Sorten Kriegspulver, endlich verschiedene Sorten Sprengpulver für feste, minder feste Gesteine etc. zu fabrizieren, so würde das Leben des schwarzen Schiesspulvers schon lange ausgehaucht sein. Das Leben ist von so langer Dauer, weil das Schiesspulver eben für die verschiedenen allmählich entstehenden Anforderungen mit geringer Veränderung immer genügt hat; sei es, dass ein anderes Mengungsverhältnis, sei es, dass eine andere Bearbeitungsmethode die Veränderung herbeigeführt hat, das Resultat war stets, dass die für den Augenblick wünschenswerte Kraft, — die Hauptsache war ja stets vor allem die Kraft, so wie man sie wünschte, — dass diese erzeugt werden konnte. Die Grundmaterialien Salpeter, Schwefel und Kohle genügten, was die Kraft anbelangt, durchweg für alle Zwecke; sie liessen sich in der Hand des Fabrikanten leicht genug zur Konstituierung einer jeden tragbaren Kraft verwerten, sowohl für die mit unglaublicher Schnelligkeit sich entwickelnde als auch für die allmählich, langsam und nachhaltig wirkende Kraft, und für die verschiedensten zwischen diesen Grenzen liegenden Schattierungen.

„Soll nun eine solche vorhandene veränderungsfähige, zu verschiedenen Zwecken verwendete Kraft, durch eine neue, der Mängel, die der ursprünglichen inne wohnen, entkleidete Kraft ersetzt werden, so stellt sich als Hauptersordernis unwillkürlich heraus, dass die neue zu beschaffende Kraft dieselbe Biegsamkeit, Geschmeidigkeit, besitze, dass auch sie für verschiedene Zwecke veränderungsfähig sei, dass sie vor allem dem vorhandenen, auf der Basis des schwarzen Schiesspulvers Geschaffenen sich akkomodiere, dass sie alle Bedingungen in der Hauptsache erfülle, gleich wie es ihre Vorgängerin bisher erfüllt hat.

„Besitzt nun die Schiessbaumwolle diese verlangte Biegsamkeit und Geschmeidigkeit? Die Antwort lautet: nein, nun und nimmermehr! Die Schiessbaumwolle ist eine ideale Kraft, ein Non plus ultra von Kraft. aber eben nur Eine Kraft, nicht wandelbar, nicht anders konstituierbar; sie ist ein festes, ein fixes chemisches Präparat ohne Veränderungsfähigkeit. Sie ist ein starrer vornehmer Geselle, welcher, wo sie auftritt, mit fürchterlicher Gewalt sich zeigt, aber auch nicht um ein Jota sich dem bisher Geschaffenen akkomodiren will. Sie ist wie ein Autokrat, wie ein Revolutionär der ersten Sorte aufgetreten. welcher verlangt, dass nach ihm sich alles richten soll, dass alles Material, das auf der Basis von Jahrhunderten errichtet ist, über den Haufen geworfen

werde, bloss um seiner neuen Existenz willen; die Schiessbaumwolle verlangt, dass neue Geschütze, neue Gewehre konstruiert werden. Dies wäre möglich und ist möglich; aber welche Revolution würde dies herbeiführen, wie gewaltig würde dies in den Organismus der Jetztzeit eingreifen.

„Der Mangel an Biegsamkeit, die Starrheit der Kraft, die in der Schiessbaumwolle liegt, ist die Hauptursache für ihre kurze Lebenszeit, sie kann nicht das Schiesspulver in seinen durch die Länge der Zeit hervorgerufenen vielfachen Kombinationen vertreten; sie kann nicht gleichzeitig die Rolle des Jagdpulvers, des Kriegspulvers, des Sprengpulvers übernehmen.

„Als Kraft, als ideale Kraft, genügt sie nur zu einem Zweck, zum Sprengen; denn das ist ihre starke Seite; was die Erzeugung einer immensen Sprengkraft anbetrifft, darin ist sie unübertreffbar; denn keine Mengung von schwarzem Pulver thut es ihr hierin gleich. — Sie wird also doch wenigstens, — so darf man resultieren, — das Schiesspulver zu Sprengzwecken verdrängen und der Industrie zu gute kommen! Leider werden wir aber auch hierbei sehen, dass durch den Mangel einer anderen Tugend, welche dem schwarzen Schiesspulver innewohnt, die Verwendung der Schiessbaumwolle selbst zu Sprengzwecken unmöglich wird.

„Die Entzündungstemperatur des schwarzen Schiesspulvers, das heisst die Höhe der Wärme, bei welcher dasselbe Feuer fängt, liegt so hoch, dass selbst durch starke Reibung auf einander treffender Körper, wie zum Beispiel des Hammers und des Ambosses, oder, wie es in den Sprenglöchern der Gesteine vorkommt, durch Verdämmen der Ladung ein solcher die Entzündung des Schiesspulvers herbeiführender Wärmegrad nicht erzeugt werden kann, dass also die mit der Manipulation des Besetzens der Sprenglöcher beauftragten Arbeiter vor der Gefahr der freiwilligen, plötzlichen Explosion möglichst sicher gestellt sind.

„Die Schiessbaumwolle, ein rein chemisches Präparat, hat eine bedeutend niedriger liegende Entzündungstemperatur, welche sogar, je nach der verschiedenen Bereitungsmethode, verschieden ist; bei einer Temperatur von 120^0 entzündet sie sich schon, selbst wenn sie gut präpariert ist, bei schlechter Zubereitung dagegen hat sie sogar schon viel unter 90^0 sich entzündet. Diese niedrige Entzündungstemperatur kann bei den kräftigen Manipulationen, die das Besetzen der Bohrlöcher erfordert, eine freiwillige Explosion sehr oft herbeiführen, so dass die hiermit betrauten Arbeiter in fortdauernder Gefahr schweben, ihr Leben dabei zu verlieren. Hierdurch ist das Vertrauen der Arbeiter auf das neue Sprengmaterial, die Schiessbaumwolle, bereits so erschüttert, dass dieselben den Vorteil des grösseren Krafteffekts gegen das schwarze Schiesspulver als nichts erachten und letzteres der Schiessbaumwolle vorziehen.

„Es geht hieraus hervor, dass für die Kreierung einer neuen Kraft, welche an Stelle des alten Schiesspulvers treten soll, die Entzündungstemperatur so hoch liegen muss, dass eine Selbstentzündung weder beim Gebrauch bei den Waffen, noch bei dem zu Sprengzwecken eintreten darf. Es kommt ausserdem noch ein anderer Punkt in Betracht, welcher die Annahme der Schiessbaumwolle für industrielle Zwecke hindert.

„Wir haben zwar ersehen, dass die Schiessbaumwolle eine ideale Kraft, eine non plus ultra Kraft genannt worden ist. Die Kraft an und für sich ist in der That ungemein gross; für die ökonomischen Verhältnisse hat jedoch eine jede Kraft nur den Wert, der sich auf das bare Geld zurückführen lässt. Zieht man nun die Gestehungskosten für die Schiessbaumwolle mit in den Vergleich der Kraft derselben zu der des schwarzen Schiesspulvers, so wird man ersehen, dass der Preis für gleiche Wirkungen dennoch zu gunsten des schwarzen Schiesspulvers ausfällt.

„Der Beweis lässt sich dadurch führen, dass man die durch die Erfahrung gefundenen Zahlen, dass nämlich durchschnittlich die Schiessbaumwolle dem Gewicht nach für Schiesszwecke die $2^1/_2$fache, für Sprengzwecke die 4fache Kraft des Schiesspulvers besitzt, als Vergleichszahlen für die Kraft feststellt und die Gestehungskosten beider Präparate berechnet.“

Es folgt nun eine vergleichende Kostenberechnung, die sehr zu Ungunsten der Schiessbaumwolle ausfällt, da die ausserordentlich erhöhten Baumwollpreise der Zeit des grossen nordamerikanischen Bürgerkrieges zur Verrechnung kommen; doch ist es zweifellos, dass Schultze für sein Pulver durch die Einführung der Holzcellulose und durch den teilweisen Ersatz der Nitrocellulose durch den natürlich stets billigeren Salpeter der reinen Baumwoll-Nitrocellulose gegenüber einen bedeutenden ökonomischen Vorteil erzielt hat.

E. Schultze weist dann noch auf die dem Leser dieses in ihren Ursachen bereist bekannte Ungleichmässigkeit der Wirkung der Schiessbaumwolle, namentlich bei nicht ganz dichtem Abschluss, als auf einen gleichfalls gegen sie sprechenden Umstand hin, und fährt fort:

„Nachdem wir die Nachteile und Schwächen des schwarzen gekörnten Gemenges kennen gelernt, die Notwendigkeit erkannt haben, dass dieser Schwächen wegen dasselbe nicht mehr für die gesteigerten Anforderungen der Jetztzeit weder in militärischer noch in industrieller Beziehung ausreicht, — nachdem wir gesehen haben, dass keines der untergeordneten Präparate, dass selbst die Schiessbaumwolle nicht das Surrogat für die durch die jetzige Zeit veränderten Anforderungen bilden kann und wird, kommt der Verfasser an den letzten Teil seiner Aufgabe, die Kritik seines von ihm neu erfundenen Pulvers, welches unter dem Namen „chemisches Pulver“ bereits Eingang in das Publikum gefunden hat.

„Die Mitteilungen, welche oben über die Schiessbaumwolle gemacht sind, namentlich über die veränderliche Kraft, welche dieselbe in sich trägt, da sie mitunter die erforderliche Triebkraft des schwarzen Schiesspulvers ersetzen kann, mitunter jedoch auch ganz als ideale zerstörungssüchtige Kraft sich äussert, sind mehr oder minder tief schon in das Publikum eingedrungen: Mancher ist sogar selbst bitteren Erfahrungen ausgesetzt gewesen. Bei Versuchen mit meistens selbst präparierter oder käuflicher Schiessbaumwolle ist ein Zerspringen der Jagdgewehre, der Büchsen wie Flinten, sehr häufig vorgekommen. Die hierbei

beteiligt Gewesenen sind schleunigst zur Verwendung des alten Jagdpulvers zurückgekehrt und haben mit vollem Recht das Ihrige gethan, um Unerfahrene vor der Anwendung der Schiessbaumwolle, vor den Gefahren des Zerspringens der Gewehre zu warnen.

„Es hat sich allgemein die Ansicht verbreitet, dass die Schiessbaumwolle zu gefährlich ist, dass das alte schwarze Jagdpulver allein die für die Jagd und das Scheibenschiessen nötige Kraft ohne Gefahr liefern könne. Dieser Glaube an die Unvergänglichkeit des schwarzen Schiesspulvers ist daher durch den Echec, den die Schiesswolle erlitten hat, um so gewaltiger geworden, so dass ein jedes neue Präparat sofort mit Misstrauen aufgenommen wird, dass die durch die Schiessbaumwolle verursachten Schäden von vorn herein als selbstverständlich dem neuen Präparat auch aufgedrungen werden.

„Es ist infolge der traurigen Erinnerungen, welche die Schiessbaumwolle zurückgelassen hat, um so weniger leicht geworden, beim Publikum mit einem neuen Schiesspulver ersetzenden Präparat Eingang zu finden.

„Der Erfinder des neuen chemischen Pulvers darf hierüber sich nicht beschweren, im Gegenteil, er findet es durch den Gang der Ereignisse gerechtfertigt, dass eine gewisse Furcht einen jeden bei der Ankündigung eines neuen Schiesspräparates beschleicht, zumal in der Neuzeit eine gewisse Manie sich kund gegeben hat für die Erfindung neuer explodierender Gemenge, deren Hauptwirkung in der That darin besteht, die Gewehre zu zerschmettern. Um so mehr aber ist es Pflicht für ihn, um der Sache willen, die mit der Zeit entstandene und allgemein verbreitete Besorgnis zu zerstreuen und mit allen Mitteln dagegen zu streiten, dass nicht, sei es durch Vorurteile, sei es durch vielleicht hinzutretendes Privatinteresse die Fortführung und Vollendung einer Sache leide, deren Grundprinzipien und deren solide und richtige Basis von bedeutenden Autoritäten in militärischer und wissenschaftlicher Beziehung konstatiert worden sind, und von welcher er berechtigt ist, dem Publikum die Mitteilung zu machen, dass sie nicht das Resultat einer zufälligen Erfindung gewesen ist, dass sie auf Jahre langen Studien der Wissenschaften Artillerie und Chemie beruht.

„Dieser Broschüre liegt von Anbeginn die Absicht zu Grunde, offen und klar den Gedankengang des Verfassers auszusprechen, die Resultate seiner Studien und Erfahrungen sowohl über das schwarze Schiesspulver als über die Konstituierung des neuen Pulvers der Öffentlichkeit mitzuteilen, damit man eben erkenne, wie er unausgesetzt nur vor Augen gehabt hat, das schwarze Schiesspulver zu regenerieren, die guten anzuerkennenden Eigenschaften desselben zu bewahren, die Mängel bei dem Schaffen des neuen Präparates fortzulassen, also auf dem Weg des wahren Fortschritts, mit Beibehaltung des Alten, Bewährten eine neue tragbare Kraft als Ersatz des Schiesspulvers zu schaffen.

„Hierdurch ist denn auch sofort der Beweis dafür gegeben, dass sein neu konstituiertes Pulver mehr Berechtigung hat, der Mitwelt Aufmerksamkeit auf sich zu lenken, als die anderen Erfindungen der Neuzeit in diesem Fach, die eben so schnell vergehen, wie sie entstehen; während das neu konstituierte

Pulver, bevor es der Öffentlichkeit übergeben worden ist, bereits an verschiedenen Orten die Aufmerksamkeit gefesselt und vielfache Anerkennung gefunden hatte.

„Der Gedanke, ein Schiesspulver ohne Schwefel zu konstituieren, ist vielfach in den vergangenen Zeiten angeregt worden. Der ungemein grosse Vorteil, den ein Schiesspulver ohne Schwefel bieten musste, lag zu Tage, und daher sehen wir immer wieder von neuem den Ansatz dazu machen, diesen Gedanken durchzuführen. Wir finden ihn schon in den zwanziger Jahren des gegenwärtigen Jahrhunderts besonders stark verfolgt.

„In den Akten, die der Spandauer Pulverfabrik gehören, woselbst der Verfasser mehrere Jahre hindurch amtlich fungiert hat, finden sich wiederholt Versuche, ein Schiesspulver, welches frei von Schwefel ist, zu fabrizieren. Dass die Versuche unter den damals aufgestellten und damals überhaupt über den Zusammenhang des Pulvers herrschenden Ideen von vorne herein scheitern mussten, dieses jetzt vorweg zu sagen, ist kein grosses Verdienst, um so weniger, als der Mangel an Erfolg durch das völlige Misslingen derselben konstatiert ist. Es war aber in der That nicht möglich auf der damals aufgestellten Basis ein explodierendes Gemenge zu erzeugen, welches durch die einfache Verbindung der Kohle mit dem Salpeter entstehen sollte. Durch Fortlassung des vermittelnden Prinzipes, welches eben durch den Schwefel vertreten ist, wird die Natur des explodirenden Gemenges dergestalt verändert, dass eine mehr allmähliche Gasauflösung, ein Funkensprühen eher entsteht, als eine wirkliche Explosion. So viel man auch die mechanische Vereinigung dieser beiden Bestandteile verändert, das Resultat ist immer das, dass eine Triebkraft in dem Sinne, wie sie durch das schwarze Schiesspulver erzeugt wird, nicht entstehen kann, weil die hierfür nötige Hitze gänzlich fehlt und die Zersetzung nur immer atomweise, nicht als eine auf das Innigste eng verbundene zusammenhängende Kette schnell in Gas aufgelöster Partikeln, erfolgt. Der Ersatz des Schwefels durch andere Stoffe wollte ebenso wenig gelingen, — kurz man stand von der Fortsetzung der Versuche aus triftigen Gründen ab.

„Dieser Gedanke, dessen Verwirklichung damals nicht erfolgen konnte, ist bei dem neuen chemischen Pulver zur Ausführung gebracht worden; das neue chemische Pulver ist nahezu das alte schwarze Schiesspulver aber ohne Schwefel. —

„Ein neues Schiessmaterial kann nicht auf Erfolg Ansprüche machen, wenn die zu erwartende Gasbildung nicht im allgemeinen von derselben Zusammensetzung ist, wie die des alten Schiesspulvers. Beispielsweise würde es ein Fehlgriff sein, wollte man darauf ausgehen, Kohlenwasserstoff-Verbindungen zu erzeugen, die mit der nötigen Menge Sauerstoff gemischt, und durch einen Funken entzündet, in gewaltige Gasmengen sich auflösen müssten. Die Wirkung derselben ist von ganz anderer Natur, sie ist nicht als Triebkraft verwendbar, sondern von momentaner Wirkung, wie man dies aus den gewaltigen Zerstörungen der in den Steinkohlenbergwerken vorkommenden „schlagenden Wetter“ sehen kann. Ebenso wenig könnte eine dem Knallgas analoge

Verbindung von Wasserstoff- und Sauerstoff-Elementen, die ebenfalls durch Funken zu entzünden ist, das schwarze Schiesspulver vertreten, weil auch diese Explosion zu destruierend wirkt. Für Sprengzwecke, sei es in den Gesteinen, sei es in den Geschossen, wo man eigentlich nie heftig genug die Wirkung haben kann, könnten solche Explosionsgemenge verwertet werden. Man hat hieran auch in der neuesten Zeit gedacht und den freilich praktisch unausführbaren Vorschlag gemacht, Nitroglycerin, eine chemische Verbindung von Glycerin mit Salpetersäure, also Kohlenwasserstoff mit viel Sauerstoff gemengt, zum Sprengpulver zuzufügen, dasselbe damit anzufeuchten. Die entstehende Gasmenge muss bedeutend durch die dabei sich entwickelnden Gase vergrössert werden, und die Explosion muss heftiger werden. Leider ist dieser Körper, Nitroglycerin, nur zu teuer, um eine praktische Verwendung zu gestatten. Die in der neuesten Zeit in Schweden gemachten Versuche, Nitroglycerin, unter dem Namen Sprengöl, allein zu verwenden, sollen dadurch günstige Resultate im ökonomischen Sinn gezeigt haben, als an Bohr- und Verstählungskosten der Bohrer eine Ersparnis gemacht werden kann. Das Nitroglycerin an und für sich kostet pro Centner mehr als 100 Thaler. Ausserdem dürfte für die wagerechten und steil aufgehenden Bohrlöcher das Sprengöl vorläufig unverwendbar sein. Jedenfalls verdient das Sprengöl nach den vorliegenden Berichten Beachtung.[1])

„Das wirkende Gasgemenge des Schiesspulvers ist der Hauptsache nach Kohlensäure, welche durch die rasche Verbrennung des Pulvers entsteht, und welche durch die bedeutende Hitze in grosse Spannung versetzt wird. Es ist bekannt genug, dass man mit dem Pfropfen einer vorher geschlossenen Selterwasserflasche jemand verwunden kann, wenn plötzlich durch Wärme die Ausdehnung, Spannung der Kohlensäure erhöht wird. Wie häufig kommen bei der Darstellung der kohlensauern Wasser, Getränke, Explosionen vor; diese sind der Natur nach mit den Erscheinungen der Gasentwickelung aus dem Schiesspulver verwandt. Während bei jenen der Volumenunterschied und der Wärmegrad gering, daher auch der Effekt im ganzen gering ist, ist bei dem schwarzen Schiesspulver beides gewaltig potenziert, der Volumenunterschied zwischen dem festen Material und der Gasmenge ist enorm, die auf die Ausdehnung der Gase wirkende Hitze ist nicht minder enorm. Je schneller dieser Volumenunterschied sich bildet, je grösser die Hitze, um so grösser ist der Krafteffekt; der grösste zu erzielende Krafteffekt ist im feinkörnigen Jagdpulver, einmal, weil die Gasentwickelung, hervorgebracht durch die schnelle Verbrennung vehement ist, sodann, weil der Salpeter mehr Sauerstoff dem ganzen Gemenge liefert, daher mehr Kohlensäure entstehen kann, endlich, weil derselbe durch seine grössere Menge eine gewaltige Hitze erzeugt, die ebenfalls vehementer, momentaner, bis zum Maximum gesteigert wird. Den mindesten Krafteffekt, — als treibende Kraft nämlich, wo eine der Wandungen (das Geschoss) nachgiebt, — liefert ein derartig konstituiertes Pulver, welches mehr Kohlenoxydgase als Kohlensäure-

---

[1]) Das hat sich schon wenige Jahre später sehr bewahrheitet. (Anm. d. Verf.)

gase entwickelt. Hierbei mangelt der Salpeter, es mangelt mithin Sauerstoff, der Kohlenstoff ist im Überschuss, es bilden sich mehr Kohlenoxydgase und weniger Kohlensäure; der Mangel an Hitze, die überhaupt das Volumen der Kohlenoxydgase nur unbeträchtlich vergrössert, soll durch den vermehrten Schwefel ersetzt werden; derselbe ist jedoch träger im Verbrennen, ein grosser Teil der Hitze geht überdies auf die Bildung des Rauches verloren, der um so bedeutender ist, je mehr Schwefel verwendet wird. Ist die Umschliessung nicht so fest, dass dieser ganze Prozess beendet werden kann, bevor eine der Wandungen fortgeschoben oder durchbrochen ist, so geht ein grosser Teil der Kraft, ohne zu wirken, verloren. Hierfür ergeben Versuche, welche mit dem besten Jagdpulver und mit dem Sprengpulver, sowohl aus gezogenen wie glatten Waffen, wie in Gesteinen zu machen sind, den besten Beleg. Bei den Gesteinen ist die Art desselben, die Festigkeit desselben, nicht ausser Beachtung zu lassen. Für die festesten Ges'eine ist das schwächste Sprengpulver, das am wenigsten Kohlensäure enthält, allein zu gebrauchen, aber mehr Kraft als es besitzt, kann es doch auch beim besten Willen nicht liefern, und diese ist in der That höchst gering; für Gesteine von loserem Zusammenhang, sowie für zerklüftete Gesteine wird die Wirkung noch unbedeutender sein, weil ein grosser Teil der Gase nutzlos davon geht.

„Die neuesten Untersuchungen der Verbrennungsprodukte des Schiesspulvers, ausgeführt von Herrn von Karolyi, welcher die so wichtigen Arbeiten und Untersuchungen des Herrn von Bunsen in Heidelberg aufgenommen und fortgeführt hat, geben den wissenschaftlichen Beleg für das eben Angeführte, und es lohnt in der That der Mühe, hierfür einen Blick in die Analyse der Verbrennungsprodukte von 3 Sorten Pulver: Jagd-, Gewehr-, Geschützpulver, zu thun, um sich von der Richtigkeit des Gesagten auch wissenschaftlich zu überzeugen.

„Es finden sich nämlich zur Untersuchung herangezogen: eine Sorte Jagdpulver, eine Sorte Gewehrpulver, eine Sorte Geschützpulver; die erste in der Zusammensetzung von:

78,99.	salpetersauerem Kali,	
9,84.	Schwefel,	
7,69.	Kohlenstoff,	Kohle.
0,41.	Wasserstoff,	
3,07.	Sauerstoff,	

„Die zweite in der Zusammensetzung von:

77,15. Salpeter,
8,63. Schwefel,
11,78. Kohlenstoff,
0,42. Wasserstoff,
1,79. Sauerstoff,
0,28. Asche.

„Die dritte endlich in der Zusammensetzung von:

73,78. Salpeter,
12,80. Schwefel,
10,88. Kohlenstoff.
0,38. Wasserstoff,
1,82. Sauerstoff,
0,31. Asche.

„Die Verbrennungsprodukte derselben sind dem Gewichte nach in der folgenden Tabelle enthalten:

	Jagdpulver:	Gewehrpulver:	Geschützpulver:
Schwefelsaures Kali	42,27.	36,17.	36,95.
Kohlensaures Kali	12,64.	20,78.	19,40.
Unterschwefligsaures Kali	3,27.	1.77.	2,85.
Schwefelkalium.	2,13.	—	0,11.
Schwefelcyankalium	0,30.	—	—
Salpetersaures Kali	3,72.	—	-
Kohle	0,73.	2,60.	2,57.
Schwefel.	0,14.	1,16.	4.60.
Kohlensaures Ammoniak.	2,86.	2,66.	2,68.
Stickstoff	9,98.	10,06.	9,77.
Kohlensäure	20.12.	21,79.	17,39.
Kohlenoxyd.	0,94.	1,47.	2,64.
Wasserstoff	0,02.	0,14.	0,11.
Schwefelwasserstoff	0,18.	0,23.	0,27.
Sauerstoff	0,14.	—	—
Grubengas	—	0,49.	0,40.
Verlust	—	0,69.	0,19.

„Aus dieser Tabelle erhellt zunächst, dass je weniger Salpeter das Pulver enthält, um so grösser die Menge der Kohlenoxydgase wird; die Menge der Kohlensäuregase steigt mit der Menge des verwendeten Salpeters, im Verhältnis zum vorhandenen Kohlenstoff. Während bei dem Jagdpulver zu viel Salpeter verwendet worden ist (für den hierbei angewandten Kohlenstoff [7,69 %], so dass 3,72 Teile Salpeter in den Verbrennungsprodukten sich vorfinden), ist beim Gewehrpulver und noch mehr beim Geschützpulver in den Verbrennungsprodukten kein Salpeter zu finden, dafür sind aber Kohle und Schwefel unverbrannt im Rückstand aufzufinden. Auf die Kraftäusserung hat nun die durch die verschiedene Dosierung erfolgende Zersetzung den Einfluss, wie er oben angegeben ist, wobei die Schnelligkeit der Verbrennung, also die Körnergrösse und der bei der Verbrennung entwickelte Hitzegrad noch von Einfluss sind.

„Bei dem Sprengpulver, welches noch weniger Salpeter und mehr Kohle und Schwefel enthält, tritt dies in noch gesteigertem Mass hervor, als in dem Geschützpulver; in den Verbrennungsprodukten desselben ist die Quantität der Kohlenoxydgase noch bedeutender, die der Kohlensäuregase weit geringer, im Rückstand ist viel mehr Schwefel und Kohle unverbrannt aufzufinden.

„Um den Einfluss der Verbrennungsprodukte auf die Wirkung noch schärfer zu erkennen, betrachten wir die Schiessbaumwolle. Der Hauptgrund dafür, dass die Schiessbaumwolle niemals das Schiesspulver wird verdrängen können, liegt eben in ihren Verbrennungsprodukten, der enorm schnellen Entwickelung derselben, dem Mangel an Hitze. Das Schiesswollgas enthält nach den Untersuchungen von Karolyi dem Gewicht nach:

28,92. Kohlenoxyd,
30,43. Kohlensäure,
6,47. Grubengas,
9,59. Stickoxydgas,
8,71. Stickstoff,
1,60. Kohle,
14,28. Wasser.

„Welche Fülle von Gasen! Dem Volumen nach nimmt die Spitze das Kohlenoxyd ein, und zwar mit . . . . . . 28,55 $^0/_0$,
dann folgt die Kohlensäure mit . 19,11 $^0/_0$,
das Grubengas mit . . . . . 11,17 $^0/_0$,
das Stickoxydgas mit . . . . 8,83 $^0/_0$,
Stickstoff mit . . . . 8,56 $^0/_0$,
Kohle . . . . 1,85 $^0/_0$,
Wasser . . . . 21,93 $^0/_0$.

„Diese Gase werden alle fast momentan entwickelt, nehmen urplötzlich ein gewaltiges Volumen ein; dann ist aber auch alle Arbeit gethan, ein nachhaltiges Wirken findet nicht statt, von einer Ausdehnung des Gasvolumens durch Hitze ist nicht die Rede. Daher wird stets, wenn auch das Verbrennen der Schiessbaumwolle durch künstliche Mittel, wie etwa die Umwickelung um einen Holzpfropfen etc., retardiert wird, die Natur der Kraft der Schiessbaumwolle dieselbe bleiben; es wird der ganze Effekt der Schiessbaumwollgase im ersten Impuls beruhen; ist das Geschoss durch diesen ersten Impuls von der Stelle gerückt, so kommen die nachher entwickelten Gase kaum zur Geltung auf das Geschoss, während sie auf die naheliegenden Teile, so auf die Geschützwand mit der ihnen eigenen Kraft wirken. Die Verzögerung der Wirkung der Kraft durch Verlangsamen der Verbrennung hat also nur eine Verminderung des Krafteffekts auf das Geschoss zur Folge, aber nicht eine Veränderung der Natur der an und für sich brisanten, den Knallpräparaten verwandten Kraft.

„Dieselbe Menge Schiessbaumwolle, welche im festen Gestein die drei- ja vierfache Kraftäusserung liefert (im Vergleich einer bestimmten Pulvermenge), liefert bei gezogenen Kanonen bei Anwendung der zu Kartuschen gefertigten Holzspulen, um welche die Schiessbaumwolle gewickelt wird, nur die zweiundeinhalbfache Kraftwirkung derselben Pulversorte, bei glatten Kanonen mit schwacher Vorlage noch um Vieles geringere Kraftwirkung als dieselbe Pulversorte. Das ist der Beweis dafür, dass schon beim gezogenen Rohr nicht die ganze Kraft (infolge der Verzögerung der Verbrennung), sondern nur ein Teil zur Geltung kommt, ein noch geringerer Teil kommt bei glatten Kanonen zur

Wirkung auf das Geschoss. Diese glatten Kanonen bedürfen daher bei der Anwendung der Schiessbaumwolle aus demselben Grunde, wenn man die Holzspulkartuschen anwendet, auch nur weniger Kaliber an Länge, weil auf das Geschoss, nachdem es die wenigen Kaliberlängen im Rohr durcheilt hat, die dann erst zur Verbrennung gelangenden Gase keine, oder doch nur höchst unbedeutende Triebkraft äussern; wogegen bei Anwendung des schwarzen Schiesspulvers mit der Grösse der Ladung auch die Kaliberlänge des Geschützes wachsen muss, eben weil die Verbrennungszeit des Schiesspulvers länger ist, und für das normale Verhältnis die Spannung der Gase so lange beträchtlich zunimmt, als das Geschoss noch im Rohr sich befindet. Die bekannte Erscheinung beim glatten Jagdgewehr, dass trotz der respektablen Länge desselben noch das schwarze Schiesspulver unverbrannt herausfliegt, woraus der Logik gemäss, um die volle Kraft zu verwerten, eine Verlängerung der Waffe als notwendig sich erweisen müsste, wird niemals bei der Schiessbaumwolle zu bemerken sein; im Gegenteil, für diese könnte das Jagdgewehr auf die Länge einer Pistole reduziert werden.

„Nach dem eben Angeführten muss für die Konstituierung eines neuen Schiessmaterials darauf Bedacht genommen werden, dass, was die kraftliefernden Verbrennungsprodukte betrifft, je nachdem das neue Material das alte Jagdpulver, oder Gewehrpulver, oder Geschützpulver, oder endlich Sprengpulver ersetzen soll, in dem neuen Schiesspräparat analoge kraftliefernde Verbrennungsprodukte sich bilden müssen. Ausser der hierauf hinzielenden Wahl der Materialien wird bei dem neuen Schiesspräparat auch der Schnelligkeit der Verbrennung, dem zu entwickelnden Hitzegrad, gebührend Rechnung getragen werden müssen. Nur auf diese Weise ist es möglich, zu einem brauchbaren Ersatzmittel für das alte Schiesspulver zu gelangen.

„Es wird also die Arbeit bei der Konstituierung einer neuen tragbaren Kraft darauf hinzielen müssen, den scharfen Unterschied in den Verbrennungsprodukten, wie ihn die Analysen des Jagdpulvers, Gewehrpulvers, Geschützpulvers zeigen, zu denen dann noch die des Minenpulvers treten, auch analog beizubehalten für die verschiedenen Zwecke, und nicht rücksichtslos diese so wichtige Seite des Schiesspulvers ausser Acht zu lassen. Und dieser scharfe Unterschied lässt sich erfassen zumeist durch die Gradationen der Entwickelung von Kohlensäure und Kohlenoxyd, neben der Mitwirkung des Stickstoffes in den verschiedenen Gemengen, demnächst durch die verschiedene Schnelligkeit der Verbrennung des ganzen Gemenges und die notwendige Hitze. — Diesen beiden Punkten, — der Schnelligkeit der Verbrennung und dem Hitzegrad, — werden wir nunmehr die Aufmerksamkeit zuzuwenden haben.

„Dass die Schnelligkeit der Verbrennung des schwarzen Schiesspulvers auf die Kraftäusserung ihren gehörigen Einfluss ausübt, das ist bekannt. Der Grad der Verdichtung der Körner, der Körnergrösse, das Polieren oder Rauhbelassen der Oberfläche derselben, sind neben der Kombinierung der Grundbestandteile die Mittel, um diesen zweiten Hauptträger für die Geschmeidigkeit der Kraft

je nach Belieben oder Erfordernis zu verändern. Wie weit diese drei Mittel ihren Einfluss in die Gestaltung der Kraft hineingreifen lassen, werden wir aus den näheren Betrachtungen ersehen.

„Der verschiedene Grad der Verdichtung des Schiesspulvergemenges kann die heterogensten Kraftäusserungen erzeugen; von der momentanen Explosion bis zum schichtenweisen Abbrennen der Zündersätze kann sie variieren. Während die Pressung mit einer Kraft, welche Millionen von Pfunden repräsentiert, das Gemenge so verändert, dass es als Triebkraft für Geschosse unbrauchbar ist, sehen wir, dass ein Pressdruck, welcher etwa 50000 Pfund repräsentiert, der auserwählte ist, durch welchen die gangbaren Kriegspulversorten erzeugt werden. Wie sehr die Verdichtung ihren Einfluss auf die Triebkraft äussert, ersieht man aus der Verschiedenartigkeit der Triebkraft, die der Rakete (einem mit enormem Druck zusammengepressten Gemenge), angehört, und der dem Schiesspulver innewohnenden Triebkraft! Nicht minder einflussreich auf die Schnelligkeit der Verbrennung ist die Grösse der Körner. Ein jedes Korn muss naturgemäss von der Peripherie nach dem Inneren zu verbrennen, um Gase zu entwickeln. Das feine Jagdpulverkorn, welches fast nur die Grösse des Sandkorns hat, bedarf eines Minimums von Zeit, um ganz zu verbrennen; die erbsengrossen Körner bedürfen zu ihrer Verbrennung schon einer Zeitdauer, die mit dem Auge wahrnehmbar ist. Zwischen diesen Extremen liegen die mannigfaltigsten Körnergrössen, so dass die Schnelligkeit der Verbrennung durch dieses Mittel der Veränderung der Körnergrösse auf das Mannigfachste je nach dem Zweck variiert werden kann. Das Polieren der Oberfläche der Körner, welches keinen anderen Zweck hat, als die Poren der Körner an der Aussenfläche zu verschliessen, ist ebenfalls ein Mittel, die Verbrennung zu verlangsamen. Das rauhbelassene Korn bietet der Flamme mehr angreifbare Stellen, und die Verbrennung eines solchen Kornes muss schneller erfolgen, als die des polierten Kornes, welches mitunter sogar den Anflug einer metallischen Haut durch das Polieren mit Graphit erhält.

„Man sieht, welche zahlreichen Mittel bei der Fabrikation des Schiesspulvers zu Gebote stehen, um die aus demselben resultierende Kraft den verschiedenen Zwecken anzupassen, sie geschmeidig für jedwede Benutzung als Triebkraft oder als Sprengkraft zu machen. Und dieser Mittel darf man sich nicht entäussern, wenn man ein Ersatzpräparat für das Schiesspulver, wenn man eine bessere, für die jetzigen Verhältnisse passendere Triebkraft zu konstituieren beabsichtigt.

„Was den für die Erhöhung der Triebkraft notwendigen Hitzegrad anbetrifft, so ist nur festzustellen, dass das Gemenge bei der Auflösung in Gase durch die bedeutende Hitze an Spannung gewaltig zunimmt. Alle Präparate, denen die Entwickelung bedeutender Hitze nicht eigentümlich ist, werden ihre Triebkraft nicht auf die Wirkungen der Kohlensäure basieren, wie dies beispielsweise bei der Schiessbaumwolle der Fall ist. Trotzdem der Gehalt an Kohlensäuregasen nicht unbedeutend ist, tritt die Wirkung derselben doch in den Hintergrund, und zwar, weil die Hitze fehlt, um dieselben auszudehnen; der

Mangel einer nachhaltigen Wirkung ist grösstenteils dem Mangel an Hitze zuzuschreiben.

„Daher muss absolut für eine das Schiesspulver zu den vielfachen Zwecken ersetzende Triebkraft die Steigerung der Hitze durch geeignete Materialien bewirkt werden können und zwar bis nahe zu der Temperatur, wie sie bei der Verbrennung des Schiesspulvers sich zeigt.

„Also Erzeugung von Kohlensäure, resp. Kohlenoxydgasen neben den Stickstoffgasen, die Möglichkeit, die Verbrennung zu verlangsamen oder zu beschleunigen, und zwar durch den Grad der Verdichtung, oder die veränderliche Körnergrösse, oder durch Polieren, endlich ein hinreichender Hitzegrad, sind die Ziele, auf die man losarbeiten muss, um eine neue Kraft zu konstituieren, welche der des schwarzen Schiesspulvers analog ist. —

„Nachdem hiermit der Inhalt für das zu schaffende Präparat erschöpfend festgestellt worden ist, müssen wir noch einige Worte über die zu wählende Form hinzufügen.

„Wir haben zur Genüge gesehen, welche bedeutende Rolle die Körnung im Schiesspulver übernimmt, wie mit dem Begriff ‚Schiesspulver' der der Körnung auf das Engste verbunden ist. Ist es daher nicht geraten, vor allem, bei der Absicht, ein neues Schiesspräparat zu fabrizieren, die Körnung festzuhalten? Der Verfasser behauptet, dass hiermit schon eine grosse Erleichterung in der Aufgabe sich ergiebt, wenn man unabänderlich die Körnung als dem Schiesspulver angehörig, als seine Existenz bedingend festhält, und von vornherein jedes Präparat, welches seiner Natur nach die Körnung nicht gestattet, als unverwendbar für den Ersatz des Schiesspulvers zurückweist.

„Abgesehen von dem Einfluss der Körnung auf die Kraftwirkung selbst, hat dieselbe auf die Entwickelung des Waffenwesens einen so integrierenden Einfluss ausgeübt, dass es schwierig ist, plötzlich einen anderen Lademodus herbeizuführen. In der industriellen Welt dürfte wohl eher eine Umwälzung möglich sein, in militärischer Beziehung greift der bisher gewählte und festgehaltene Lademodus so entschieden in alles Bestehende ein, dass es Jahrzehnte bedarf, bevor alle Utensilien, alle Erinnerungen an das Alte dem Neuen zu Liebe als Opfer werden gefallen sein. So mächtig ist die Gewohnheit, dass sie für die Form eines neuen Schiesspräparates die Beibehaltung der Körnerform unbedingt anbefiehlt.

„So haben wir für die Kreierung einer neuen tragbaren Kraft die Bedingungen der Form und dem Inhalt nach durch rationelles Erforschen der Vorzüge und Schwächen des schwarzen Schiesspulvers kennen gelernt; diese sind zu erfüllen, damit das zu erreichende Ziel kein verfehltes sei. Fügt man zu diesen Grundbedingungen, die die Konstituierung der Kraft für sich beansprucht, noch die beiden, von der Jetztzeit vor allem dringend gestellten Bedingungen, die der verminderten Gefahr bei der Fabrikation, dem Transport und der Manipulation des neuen Präparates, sowie die ganz unerlässliche Bedingung bei jedem

neugeschaffenen Material, die des billigeren Preises, so haben wir den Rahmen vollendet, in welchen das zu erzeugende Bild hineinpassen soll.

„Das ist die Entwickelung des Gedankenganges des Verfassers dieser Zeilen gewesen, bevor er die Aufgabe begonnen hat, seine Gedanken zu verkörpern, das Gesuchte darzustellen.

„Der zweite Teil dieser Aufgabe wird die Durchführung dieser Gedanken zu beleuchten und nachzuweisen haben, welche praktischen Erfolge mit der neu konstituierten, auf der Basis des alten Schiesspulvers ruhenden Kraft, der richtigen Durchführung dieses Gedankens zur Seite stehen.

„Die drei Grundbestandteile der treibenden Kraft: Kohlenstoff, Sauerstoff, Stickstoff, weisen für die Wahl der Materialien — genau so wie es im schwarzen Schiesspulver der Fall ist, — auf die Verwendung von Pflanzenstoffen und die sogenannten Sauerstoffträger, deren Basis der Stickstoff ist, von vornherein hin. Was haben wir im Kohlenstoff des schwarzen Schiesspulvers anderes, als den ursprünglichen Pflanzenstoff? Sieht man von der einseitigen Wahl der Holzgattungen, wie sie in einem oder dem anderen Land in der Pulverfabrikation üblich ist, ab, so wird man finden, dass nicht allein bloss das Weidenholz, oder Faulbaumholz das geeignete Material zur Verkohlung ist, sondern dass die Pappel, die Erle, der Hollunder, die Kastanie, das Haselholz, in Italien und Spanien der Hanfstengel, Oleander, Taxus, die Weinrebe etc., ganz dieselben guten Dienste leisten, dass überhaupt aus dem Reich der Pflanzenstoffe das ‚Holz' allgemein für die Pulverfabrikation zur Erzeugung der Kohle, oder richtiger gesagt, zur Erzeugung des Kohlenstoffes verwendet wird.

„Das Holz ist also der Repräsentant des Kohlenstoffes für die Schiesspulverfabrikation. Um diesen aus ihm darzustellen, unterwirft man das Holz, welches von seinen Säften so viel wie möglich befreit ist, der trockenen Destillation, das heisst, man sperrt es auf irgend eine Weise vom Zutritt der Luft ab, schliesst es beispielsweise in gusseiserne Retorten ein, und lässt eine bedeutende Hitze auf die Retorten einwirken.

„Die Absperrung der Luft ist notwendig, weil bei dem ungehinderten Zutritt des Sauerstoffes aus der Luft eine unausgesetzte Oxydation, ein Verbrennen des Holzes stattfinden müsste.

„Da die zusammengesetzten Körper durch den Einfluss der Wärme das Bestreben erlangen, in einfache Verbindungen sich aufzulösen, so wirkt die Wärme auch auf das Holz derartig zersetzend ein, dass fast sämmtlicher Sauerstoff und Wasserstoff der Cellulose mit dem Kohlenstoff flüssige oder flüchtige Verbindungen eingeht, welche Verbindungen von dem in der Retorte zurückbleibenden Körper, der gebrannten Kohle, durch Röhren etc. getrennt werden.

„Die Kohle, welche zurückbleibt, enthält kaum ein Drittel, oft nur sogar ein Viertel des Gewichtes von dem zur Verkohlung hineingelegten Holz. Es sind also zwei Drittel bis drei Viertel der Bestandteile des Holzes mit Anwendung bedeutender Wärme davongejagt, um die Kohle möglichst rein zu erhalten, und selbst der Kohlenstoff des Holzes ist hierbei zu nicht geringem Teil davongegangen, weil für die Bildung der entstehenden Kohlenwasserstoff-

verbindungen, für die Kohlenoxyde, die Kohlensäure, beträchtliche Mengen des Kohlenstoffes verloren gehen.

„Sehen wir aber zu, woraus das Holz besteht, so ergiebt die Analyse, dass etwa die Hälfte Kohlenstoff, circa 44 Procent Sauerstoff und etwa 6 Procent Wasserstoff die Cellulose zusammensetzen. Die Verkohlung behält nur etwa 25 bis 30 Procent Kohlenstoff, welche in der schwarzen Kohle enthalten sind, von den ursprünglichen 50 Procent Kohlenstoff, + 44 Procent Sauerstoff, + 6 Procent Wasserstoff, zurück. Dieser Kohlenstoff ist für das zu erzeugende Schiesspulver die Basis für die treibenden Gase, welche es liefern soll. Wenn man diesen Kohlenstoff mit Sauerstoff, und zwar etwa wie er im natürlich gewachsenen Holz der Quantität nach enthalten ist, mengt und dann das Gemenge anzündet, so entsteht die Flamme, die unter beständigem Zutritt von Sauerstoff der Luft ebenso wie ein Stückchen gedörrtes Holz weiter brennt.

„Wenn man glimmende Kohle in reines Sauerstoffgas bringt, so verbrennt diese lebhaft. Jedenfalls ist für die Entzündung und das Weiterführen der Flamme das Dasein des Sauerstoffes bei der Kohle von derselben Wichtigkeit und Notwendigkeit, als das Vorhandensein des Sauerstoffes im Holz, damit dieses weiter brennt, es ist in beiden Fällen nur der im Holz oder in der schwarz gebrannten Kohle vorhandene Kohlenstoff, welcher unter genügendem Zufügen von Sauerstoff die Entzündung und allmähliche Verbrennung aufnimmt und weiter führt. Der Kohlenstoff hat durchaus nicht die Identität mit der Kohle notwendig; es ist nicht nötig, dass man den Kohlenstoff sich schwarz vorstellt, wie die Kohle es ist; der Diamant zum Beispiel, der reinste Kohlenstoff ist nicht schwarz. Das Schiesspulver bedarf des K o h l e n s t o f f e s, nicht der Kohle, um treibende Gase zu erzeugen. Die absichtliche Entfernung des Sauerstoffes aus dem Holz, — wie sie bis jetzt behufs Erzeugung der Kohle üblich ist, — ist daher etwas nicht gehörig Motiviertes, freilich zu entschuldigen durch das bisher alleinige Bestreben, die Kohle als den Repräsentant des Kohlenstoffes pure darzustellen.

„Der Verfasser, welcher in seinem neu konstituierten Pulver einen anderen, viel natürlicheren Verkohlungsprozess anwendet, ist hierdurch in den Stand gesetzt, das Holz, sowie die Natur es liefert, zu verwenden, und die in demselben enthaltene Sauerstoffmenge zugleich mit der gesammten Kohlenstoffmenge zu der Erzeugung der treibenden Kraft zu verwerten.

„Dieser Verkohlungsprozess, der bei dem schwarzen Schiesspulver mit Vergeudung von vielem kostbaren Brennmaterial der Fabrikation des Schiesspulvers als Vorbereitungsarbeit vorangehen muss, wird bei dem neu konstituierten Pulver erst während des Augenblickes der Auflösung des Pulvers in Gase durchgeführt. Es ist die mit Pulver besetzte Mine, das geladene Kanon, das geladene Gewehr der Verkohlungsofen, also der Ort, an welchem die Verkohlung erzeugt wird, der den in dem Holz vorhandenen Kohlenstoff zur Geltung bringt. Man mache nur mit Verbrennen vom gedörrtem Holz, dem genügend Sauerstoff zugeführt wird, verschiedene Experimente, und man wird finden,

dass dasselbe, wenn es fest in einem engen Raume eingeschlossen ist, Kohlensäure in bedeutenden Quantitäten erzeugt.

„Diese Kohlensäure ist im stande, durch die Wärme ausgedehnt, die Umfassungswände zu zerbrechen, also eine Explosionswirkung auszuüben. Das, was das hermetisch eingeschlossene mit Sauerstoff reichlich versehene Holz leistet, ist also eine Kraft, welche der des Schiesspulvers freilich lange noch nicht nahe kommt, die aber doch auch fähig ist, zu einer Triebkraft herangebildet zu werden. Für den Verfasser ist das schwarze Schiesspulver nichts Anderes als Holz, dem der Wasserstoff zum grössten Teil entzogen ist, mit Sauerstoff und Stickstoff gemengt, und ausserdem mit den mehr oder minder unnützen, nur durch die Fabrikation bedingten Zuthaten von Schwefel und Kalium.

„Fasse man einen Teil des Sauerstoffes vom Salpeter zu dem Kohlenstoff der Kohle hinzu, so hat man das Holz, welches vom Wasserstoff befreit ist. Diesen Anteil vom Sauerstoff, welchen das Holz enthält, belässt der Verfasser demselben, und sein Bestreben geht nur darauf hinaus, den Wasserstoff dem Holz ganz oder doch zum teil zu entziehen. Wenn dieses Holz vom Wasserstoff zum teil befreit, mit Substanzen vereint wird, welche Sauerstoff und Stickstoff reichlich liefern, wenn ein beträchtlicher Hitzegrad hierbei durch Wahl richtiger Stoffe erzielt werden kann, wenn endlich eine möglichst schnelle Verbrennung durch die richtige Form erzielt werden kann, so ist das Bild für die Erzeugung einer neuen tragbaren Kraft, die nicht Schwefel enthält, keine lästigen Verbindungen zwischen dem Schwefel und dem Kalium mit sich führt, fertig!

„Die Fortschritte der Chemie haben es dem Erfinder möglich gemacht, dieses eben dargestellte Bild, welches ihm stets vor Augen schwebte, durchzuführen. Er ist auf diesem Wege dazu gelangt, sämmtliche Bedingungen zu erfüllen, welche er von vornherein sich gestellt hat. Er hat namentlich dadurch, dass er die Veränderungsfähigkeit des Präparates in seiner neuen Fabrikation bewahrt hat, die Geschmeidigkeit der zu erzeugenden Kraft erhalten; er hat diesen neuen Bau auf den Grundpfeilern der Eigentümlichkeiten, die das schwarze Schiesspulver während seines Jahrhunderte langen Bestehens sich angeeignet und dauernd bewahrt hat, errichtet: die Körnerform des alten Pulvers mit allen ihren Konsequenzen hat er beibehalten, er ist im stande, die verschiedenartigsten Gemenge des schwarzen Schiesspulvers auf das Genaueste, was ihre Kraftäusserung betrifft, nachzubilden, und hat dabei die grossen Vorteile der geringen Dampfbildung und der Erzeugung eines Minimums von Rückstand für sich. Die Mittel hierfür sind wie bei dem alten Schiesspulver die verschiedene Dosierung, der verschiedene Gehalt an Wasserstoff, welchen er dem Holz belässt, die verschiedene Körnergrösse, also genau dieselben Axen, um die die Fabrikation des alten Schiesspulvers sich dreht.

„Die Fabrikation selbst, welche seit einem Jahr im grossen Massstab von dem Erfinder in Potsdam geleitet, und welche grösstenteils auf nassem Wege durchgeführt wird, bildet in keinem Stadium der Entwickelung irgend welche Gefahr. Diese tritt erst, und selbst dann, wie wir sehen werden, in unendlich

abgeschwächtem Grade, mit dem letzten Momente, in dem das Präparat seiner fertigen Bildung entgegengeht, ein, und es ist hiermit ein unendlich wichtiger Fortschritt für diesen Industriezweig, die Pulverfabrikation, den Menschen im allgemeinen und namentlich dem Teil der Menschheit geboten, welcher bisher behufs Erzeugung des schwarzen Schiesspulvers sein Leben jeden Augenblick zur Verfügung zu stellen gezwungen war.

„Da der letzte Teil der Fabrikation, in welchem die Explosionsfähigkeit des neuen chemischen Pulvers sich bildet, eine äusserst kurze Zeit und sehr wenig Arbeitskräfte verlangt, so ist hierdurch eine rapide Anfertigung von grossen Quantitäten der neuen tragbaren Kraft für den Fall des Bedarfes ermöglicht, und man ist im stande, bis zum wirklichen Bedarf die der Verbrennung selbst unzugänglichen Bestandteile getrennt von einander ohne jegliche Gefahr aufzubewahren. Von wie weit tragenden Folgen dieses für die Zukunft werden kann, geht daraus hervor, dass mithin nur der Bedarf vielleicht für höchstens einige Wochen sowohl für industrielle als militärische Zwecke als wirkliches explosionsfähiges Pulver an den Bedarfsorten vorhanden zu sein braucht, dass diese Masse allein der etwaigen Aufbewahrung anheimfällt, und dass somit die jetzigen Tausende und Tausende von Zentnern schwarzen Schiesspulvers, welche seit Jahren fortdauernd die Umgebung mit einer Vernichtung bedrohen, in der Zukunft als zwar schon zubereitete Präparate, aber doch gefahrlos an jedem bewohnten Ort deponiert werden können, da ja in ihnen binnen kürzerer Zeit als Tagesfrist die explodierende Kraft erweckt werden kann. Von noch grösserer Bedeutung ist, dass dieses neue chemische Pulver nur dann seine explosive Kraft äussert, wenn es eingeschlossen ist. Sobald die äussere Einschliessung nicht fest oder garnicht vorhanden ist, verbrennt das Pulver mit schöner Flamme, ohne eine sichtbare Explosionswirkung zu äussern. Es unterscheidet sich hierdurch von dem schwarzen Schiesspulver so wie von der Schiessbaumwolle auf das wesentlichste; denn beide letztere tragen stets das Verderben, das Unheilbringende mit sich.

„Angestellte Versuche haben gelehrt, dass Massen bis zu einem Zentner ungefähr, nur in Holzkästen eingeschlossen, ohne Explosionswirkungen zu äussern, einfach verbrannt sind; so wurde circa ein Zentner des neuen Pulvers zu Pallisadensprengungen aber ganz ohne Resultat verwendet; die Pallisaden wurden nur angeschwärzt. Hieraus ist zu folgern, dass leicht bedachte Pulvermagazine, mit dem neuen Pulver angefüllt, bei einer plötzlichen Entzündung einfach ausbrennen werden, ohne die Gefahr zu verbreiten, wie sie durch das Auffliegen von Pulvermagazinen in der Neuzeit so gewaltig sich gezeigt hat. Wenn auch für das Pallisadensprengen das neue chemische Pulver mit der ihm jetzt eigentümlichen Kraft, nur eng eingeschlossen zu wirken, nicht zu verwenden ist, so ist hierfür der grosse Vorteil der abgeschwächten Gefahr, welche dem neuen Pulver beim Transport, bei der Aufbewahrung innewohnt und welche auf die einfache Feuersgefahr zurückgeführt wird, unschätzbar für alle Menschen, namentlich für die, welche mit Pulver zu thun haben. Das Unglück, welches vor Kurzem in einem Bergschacht am Rhein sich ereignete, wo durch die

Entzündung von schlagendem Wetter das unterirdische Sprengpulverdepot Feuer fasste, und wodurch mehr als 30 Bergleute umkamen, hätte sich nicht ereignen können, wenn die neue Kraft, das neue chemische Schiesspulver, im Depot gelagert hätte; es wären höchstens einige Brandverletzungen zu beklagen gewesen. Die grosse furchtbare Explosion in Erith, welche im Oktober d. J. ganz Europa durchzitterte, wäre, wenn das neue Pulver dort gelagert hätte, nichts als höchstens eine Feuersbrunst gewesen.

„Auch die Preisfrage ist auf das sorgfältigste bedacht worden. Sowohl für Kriegszwecke, wie für die Jagd, als auch namentlich für Sprengzwecke ist die durch den Erfinder konstituierte neue tragbare Kraft um ein Erkleckliches billiger zu beschaffen, als es beim schwarzen Schiesspulver der Fall ist. Bei einem Verbrauch, der beispielsweise für das Kaiserreich Frankreich ein Budget von circa 9 Millionen Franken pro anno erheischt, wird dasselbe durch Einführung des neuen chemischen Pulvers um circa 3 Millionen Franken pro anno erniedrigt, welche als faktische Ersparnis durch Herstellung einer billigeren und zweckmässigeren Kraft zu erachten sind. Rechnet man im Königreich Grossbritannien, in Deutschland, Russland, und den gesammten anderen Ländern als einem Komplex, einen gleich grossen Verbrauch, — was jedenfalls bei dem Aufschwung der Eisenbahnbauten und des Bergwerksbetriebes nicht zu hoch gerechnet ist, — so ergiebt sich in Summa für Europa eine Ersparnis von circa 15 Millionen Franken oder 4 Millionen Thalern pro anno, — eine Summe, die nicht zu verachten ist, wenn man über sie zu anderen Zwecken disponieren kann.

„Das neue chemische Schiesspulver hat nicht allein Eingang in das Publikum gefunden und einer günstigen Aufnahme durch dasselbe zu Jagdzwecken sich zu erfreuen gehabt, wozu es als Handelsartikel dem Publikum zur Verfügung gestellt wird, sondern es ist ihm auch bei den Versuchen in den verschiedenartigsten Gesteinen die Anwendbarkeit und der billige Preis konstatiert worden. Es ist hierdurch schon die Veränderungsfähigkeit, die analoge Geschmeidigkeit der Kraft, wie sie dem schwarzen Schiesspulver eigen ist, auf das eklatanteste erwiesen. Von noch viel grösserer Bedeutung für die Zukunft des neuen chemischen Pulvers sind die Versuche, welche von der königlich preussischen Regierung, sowie von der kaiserlich französischen Regierung durch eigens hierzu ernannte Kommissionen durchgeführt worden sind, und noch zum teil durchgeführt werden. Diese Versuche haben zunächst die Lebensfähigkeit des neuen chemischen Pulvers ausser aller Frage gestellt, haben die geeignetere Verwendung desselben zu Spreng- und Jagdzwecken erwiesen, und werden noch fortgeführt, um es auch für die allgemeine einstige Einführung zu Kriegszwecken in allen Beziehungen geeignet zu machen.

„Trotz den schon vielfach erlangten günstigen Resultaten und trotz der anerkennendsten Beurteilung durch eine grosse Anzahl kompetenter Persönlichkeiten, welche es zugestehen, dass das neue chemische Pulver dazu berufen ist, dereinst das alte schwarze Pulver zu verdrängen, gesteht der Erfinder dennoch ein, dass eine grosse Aufgabe für ihn durchzuführen bleibt, der Kampf gegen eine Unzahl von Schwierigkeiten und Hindernissen. Es genügt nicht, nach

zehnjähriger Arbeit, die schwierigsten wissenschaftlichen Probleme, die er sich gestellt hat, gelöst au haben, es ist noch notwendig, dass die Mitwelt seine Gedanken auffasse, prüfe und billige, dass sie die erlangten Resultate erfahre, mit einem Wort, dass sie seine Erfindung annehme, dass sie diese als einen wahrhaft technischen, für die Ökonomie wichtigen Fortschritt und vor allem als eine philanthropische Wohlthat anerkenne. — Auf diesem neuen Terrain wird das Vorurteil und die Macht der Gewohnheit der grösste Feind sein, und zwar ein um so gefährlicherer, als ihm zur Seite die Kraft der Trägheit steht, welche gegen jeden Übergang zum Neuen mit aller Gewalt kämpft. Der Erfinder hat ausserdem gegen sich die ganz natürliche Furcht oder Besorgnis, welche eine neue Kraft, deren Eigenschaften nicht bekannt sind, dem Publikum einflösst, vielleicht auch das durch die Erscheinung eines neuen Handelsartikels als neuen Ankömmlings mitunter angefeindete Privatinteresse der Verwaltungsbeamten oder der Industriellen, da die Geschmeidigkeit des neuen Ankömmlings in diesem Sinne noch nicht erkannt worden ist. Selbst die Form des neuen Produktes wird einige Schwierigkeiten darbieten, trotzdem sie von gar keiner Bedeutung ist. Die Mineure oder die Artilleristen, welche an den schwarzen dicken Rauch des Schiesspulvers gewöhnt sind, werden ausser Fassung gebracht werden, beim Anblick eines leichten Dampfes, der sofort verfliegt und dem Mineur gestattet, seine Arbeiten ohne Zeitverlust aufzunehmen, dem Artilleristen die freie Aussicht zum Zielen eröffnet. Beide werden sich über den Mangel an Dampf und Geruch beklagen, weil sie von Kindesbeinen daran gewöhnt sind, und werden anfänglich die schwefelsauren Gase dem Mangel an Gasen vorziehen. Die neue gelbe Farbe des Pulvers wird sogar alle diejenigen in Erstaunen setzen, welche das „Schwarz" für dem Pulver unbedingt angehörig gehalten haben, es anders sich nicht vorstellen können, und den Namen „Schiesspulver" dem neuen Produkt aus diesem Grunde verweigern. Allen diesen diene zur Antwort: Nehmt das neue Produkt, wie ihr es wollt! das Wichtigste ist, dass es eine neue Kraft darstellt, und zwar eine Kraft, welche ganz und gar analog der des schwarzen Schiesspulvers ist, welche auf dieselbe Weise verwendet, die gleichen Vorteile bringt, dagegen die fatalen Übelstände des alten Produktes nicht mehr hat. Das Wichtigste ist, dass diese neue Kraft auf der Höhe des heutigen industriellen und militärischen Aufschwunges steht und der geeignete Ersatz für das veraltete, der Jetztzeit und ihren Anforderungen durchaus nicht mehr genügende schwarze Präparat ist."

Über die technische Ausführung der im Obigen dargelegten Schultze'schen Ideen brachte die „Deutsche Industrie-Zeitung" vom 10. März 1865, und nach ihr die meisten anderen Fachblätter, das Folgende:

„Dieses weisse Schiess- und Sprengpulver wird aus Holzfaser auf eine ähnliche Weise dargestellt, wie Schiessbaumwolle aus Baumwolle. Holz von irgend einer Art, für Sprengpulver am besten hartes,[1]) wird in dünne Blätter

[1]) Jedenfalls um recht harte Körner zu erhalten, die niemals zerdrückt werden und immer Zündkanäle für ein möglichst augenblickliches Durchschlagen der Flammen durch die ganze Sprengladung offen lassen sollten. (Anm. d. Verf.)

zerteilt, deren Dicke die Grösse des Pulverkornes bedingt, und je nach der darzustelleuden Sorte verändert wird. Die Blätter werden dann unter eine Durchstossmaschine gebracht, deren Stempel etwa einen der Blattdicke gleichen Durchmesser hat. Die so erhaltenen Holzcylinder werden zur Fabrikation des besten Pulvers verwendet; die übrig bleibenden durchlöcherten Holzplatten werden durch zwei rechtwinklig gegen einander bewegte Paar Schneidewalzen in Vierecke zerschnitten und zur Darstellung von Pulver für Festungen und die Marine verwendet.

„Das zerkleinerte Holz wird nun zunächst von Säuren und anderen leicht löslichen Substanzen befreit, indem in einen kupfernen Kessel so viel Wasser mit 3 Pfund Sodalösung gebracht wird, dass 100 Pfund Holz frei darin schwimmen können. Das Holz wird gut in der Flüssigkeit umgerührt und 3—4 Stunden gekocht, dann das Kochen mit frischer Flüssigkeit 3—4 Stunden wiederholt. Hierauf wird das Holz herausgenommen und 24 Stunden einem Strom frischen kalten Wassers ausgesetzt. Nach dem Trocknen werden die Holzkörner in Eisenblechkästen mit siebartigem Boden gebracht und 15 Minuten lang Dampf durchgeleitet, wobei das Proteïn und Albumin abgetrennt und mit dem Kondensationswasser abgeführt werden. Die wieder 24 Stunden lang in einen Strom kalten, fliessenden Wassers gebrachten und dann getrockneten Holzkörner werden hierauf mit Chlorkalk oder Chlorgas gebleicht, dann mit kaltem, frischem Wasser gewaschen, das fast bis zum Kochen erhitzt wird, wieder 24 Stunden lang in einen Strom von frischem, kaltem Wasser gebracht und bei mässiger Temperatur getrocknet. Hierauf werden sie mit Säuren behandelt; dazu werden 40 Teile konzentrierte Salpetersäure von 1,48—1,50 spec. Gewicht mit 100 Teilen konzentrierter Schwefelsäure von 1,84 spec. Gewicht gemischt, die Mischung etwa 2 Stunden fortwährend umgerührt und dann an einem kalten Orte zum Gebrauch aufbewahrt. Beim Gebrauch werden 100 Teile des Säuregemisches in einen gusseisernen Kessel gebracht, um den fortwährend kaltes Wasser zirkuliert, allmählich 6 Teile Holzkörner zugesetzt und das Ganze 2—3 Stunden fortwährend umgerührt. Das Holz wird dann, etwa in einer Centrifugalmaschine, vollständig von den Säuren befreit, 2—3 Tage in frisches kaltes Wasser gebracht, in schwacher Sodalösung gekocht, wieder 24 Stunden frischem, kaltem Wasser ausgesetzt und darauf getrocknet.

„So ist das Holz für die letzte Operation fertig, die beliebig später vorgenommen werden kann und in einer Sättigung mit sauerstoff- und stickstoffhaltigen Salzen besteht, wozu salpetersaures Kali entweder allein oder mit salpetersaurem Baryt verwendet werden kann. Wendet man beide Salze an, so werden 22,5 Teile Kalisalpeter und 7,5 Teile Barytsalpeter in 220 Teilen Wasser von 44° C. gelöst und in der Lösung 100 Teile Holzpulver 10 bis 15 Minuten umgerührt. Wird Kalisalpeter allein verwendet, so werden 26 Teile davon in in 220 Teilen Wasser von 20° C. gelöst und darin 100 Teile Holzkörner wie oben umgerührt. Dann wird das Pulver in Trockenräumen von 32—40° C. Lufttemperatur 12—18 Stunden getrocknet, in einer Siebtrommel vom Staub befreit und ist nun gebrauchsfertig.“

Der im Schultze-Pulver durch den Zusatz sauerstoffliefernder Salze bewirkten Einschränkung der Kohlenoxydgas-Bildung bei der Explosion entsprach die vom Erfinder angestrebte Brisanzverminderung nicht ganz im gewünschten Masse; aus anderen, leicht begreiflichen Gründen war aber die Verminderung des stark giftigen Kohlenoxydgases namentlich für den Gebrauch in Bergwerken sehr willkommen. Auf die hygienischen Vorteile, die Mischungen von Nitrocellulose mit sauerstoffliefernden Salzen reiner Nitrocellulose gegenüber für den Gebrauch in Gruben bieten, hatten schon in der ersten Zeit nach der Erfindung der Schiessbaumwolle Combes und Flandin aufmerksam gemacht (Ber. d. Par. Akad., 1848, Bd. XXVI, S. 61 ff.); doch bürgerten sich solche Mischungen erst nach dem Auftreten des Schultze-Pulvers in dem Grubenbetrieb ein. Die Mischung von Nitrocellulose mit sauerstoffliefernden Salzen an und für sich war natürlich durch die Patente E. Schultze's nicht gedeckt; diese deckten nur die bezeichnete Art der Körnung von Holz unter nachträglicher Reinigung, Nitrierung und Tränkung mit Salpeterlösung, so dass bald von vielen Seiten im In- und Auslande Sprengpulver aus verschiedenen Arten von Nitrocellulose und Salpeter in den Handel kamen, in denen meistens nach dem Abel'schen Verfahren hergestellte Nitrocellulose mit Salpeter gemengt und dann in verschiedener Weise gepresst oder gekörnt war. Dieses Verfahren bot neben erhöhter Stabilität des Produktes auch den Vorteil, dass man mehr Salpeter, als durch Tränkung mit einer Salpeterlösung hinzusetzen konnte, was die Kohlenoxydgasentwickelung noch weiter einzuschränken und im Verein mit der Verwendbarkeit billigerer Nitrocellulose den Preis des Pulvers herabzusetzen gestattete. Auch konnte man solche Pulver durch Pressen weit weniger voluminös machen, als seine ursprüngliche Struktur beibehaltendes Holz. Schultze selbst ging bald zur Verwendung fein zerkleinerter Nitrocellulose über und wandte zur Körnung seines zum Schiessen bestimmten Pulver die Champy'sche Agglomerationsmethode an (vgl. S. 223—225 und 232), was dann auch die meisten seiner Nachahmer thaten. Wie bereits bekannt, erhält man durch diese Methode zwar runde Köner, jedoch keine, die auch im Ladungsraum bis zum Augenblick ihrer Verbrennung rund bleiben; viele der agglomerierten Schultze-Pulver sind sogar so weich, dass sie schon beim Abmessen etwas von ihrer Form verlieren und manchmal erheblich mehr von ihnen in das Lademass hineingeht, als sonst. Trotzdem haben sich die Schultze'schen Schiesspulver zwar nicht für Kriegszwecke, aber doch für Jagd- und Sportzwecke einen ansehnlichen Markt verschafft.

Für den Gebrauch in gezogenen Waffen ergab das Schultze-Pulver immer eine noch zu grosse Brisanz, so dass es auf dem Gebiet der Kriegswaffen nie festen Fuss fassen konnte. Schweizerische Versuche

z. B. zeigten (nach der „Zeitschrift für die schweizerische Artillerie“, 1867, S. 125), dass das Schultze-Pulver zwar im Probier-Mörser fast zweimal so viel leistete, als das gewöhnliche Schwarzpulver, dass es aber im gezogenen Stutzen die gewöhnliche Ladung von 4 g Schwarzpulver nicht ersetzen konnte, da die Geschosse, sobald die Ladung mehr als 16 g Schultze-Pulver betrug, über die Züge gerissen und ohne Rotation aus dem Laufe geschleudert wurden. Für Schrotschuss-Zwecke wurde aber das Schultze-Pulver bald recht beliebt und man kann sagen, dass es vor der neuesten Entwickelungsperiode der Nitrocellulosepulver der einzige Repräsentant dieser Pulver war, welcher für Jagdzwecke eine ausgedehntere Verwendung gefunden hat; denn die rauchschwachen Jagdpulver der „Smokeless Powder Company“ („Rifleite“ u. a.), der „Explosives Company“ („E. C-Pulver“), die „poudres pyroxylées“ der französischen Pulverregie u. s. w., die man in den siebziger und achtziger Jahren und zum teil noch jetzt genannt und benutzt findet,[1]) sind sämmtlich vom entwickelungsgeschichtlichen Standpunkte aus betrachtet nichts Anderes, als wenig abgeänderte Schultze-Pulver.

Der Erfinder hat noch länger als zwanzig Jahre an der Vervollkommnung seiner Erfindung gearbeitet. Noch im Jahre 1886 nahm er Patente auf einen Zusatz zu seinem Nitrocellulose-Salpeterpulver. Die Herstellung des neuen Zusatzstoffes sollte nach der deutschen Patentschrift No. 38363 geschehen

„durch Behandlung von Harzprodukten, wie Terpentin, Terpentinöl, Kolophonium etc. mit mehr oder minder verdünnter Salpetersäure unter mässiger Wärmezuführung. Bei geringer Temperaturerhöhung nitrieren sich diese Harzprodukte leicht und regelmässig und bilden als nitrierte Produkte eine eigene Klasse von Nitroabarten, denen man die Bezeichnung Mononitrate beilegen könnte.

„Die festen Harze, wenn sie so hart sind, dass sie sich pulverisieren lassen, werden fein zerkleinert, und in einem grösseren Gefäss wird 1 Gewichtsteil dieser zerkleinerten Masse mit etwa $1^1/_2$ Gewichtsteilen Salpetersäure von 1,42 bis 1,46 spec. Gewicht übergossen. Unter fortdauerndem Umrühren wird die Mischung im Wasserbade erwärmt. Es tritt dann allmählich ein mehr und mehr um sich greifendes Aufschäumen ein, so dass das nitrierte Harzpulver in einen höchst fein verteilten Zustand übergeführt wird. Die weichen und flüssigen Harzprodukte werden ähnlich behandelt; nur geschieht der Zusatz von etwas verdünnter Salpetersäure nach und nach.

„Die entstandenen nitrierten Substanzen werden ausgewaschen und bilden in dem fein verteilten Zustand den geeigneten Zusatz zu den Mischungen.“

---

[1]) „Die Details der fabrikmässigen Herstellung vieler von diesen Pulvern findet man in dem schon einmal genannten vorzüglichen Buche von Guttmann in London: „Die Industrie der Explosivstoffe“ (Braunschweig 1894).

Der Zusatz sollte in der Menge von höchstens $^1/_{12}$ des Ganzen erfolgen; als Beispiel wird ein Pulver aus 5 Teilen Pyroxylin, 6 Teilen Salpeter und 1 Teil des nitrierten Harzproduktes angeführt.

Ein solcher schwach explosiver Zusatz konnte gewiss die Brisanz des Pulvers mildern, jedoch nur auf Kosten der Kraftentwickelung; einen höchst bedeutsamen Fortschritt in der Entwickelung der Schultze-Pulver und der rauchschwachen Pulver überhaupt bildet aber die auch im eben zitierten Patent als Endoperation genannte Gelatinierung, die zwar schon früher mehrfach in Aussicht genommen war (vgl. S. 171—172 und 207—208), die aber zuerst bei den Schultze-Pulvern um 1880 in grösserem Massstabe zur Anwendung kam. Sie sollte zunächst nur oberflächlich sein und zur Beseitigung der, wie schon bekannt, bei allen porösen Nitrocellulosearten zu beobachtenden und bei geringeren Sorten Schultze-Pulver wohl auch durch weniger reinen Salpeter geförderten Hygroskopizität dienen; man bewirkte sie, indem man das Pulver vermittelst einer feinen Brause mit einem Lösungsmittel der Nitrocellulose übersprühte. Bei feinkörnigeren Sorten pflegte aber dabei stets eine ziemlich vollständige Durchgelatinierung einzutreten. Man fand bald, dass die mit den Lösungsmitteln behandelten Pulversorten schon wegen ihrer glatten und infolge dessen schwerer entzündlichen Oberfläche langsamer verbrannten, dass sich aber die durchgelatinierten ganz besonders durch Verminderung der Brisanz auszeichneten, und ging zu einer stärkeren Benetzung der Körner mit den Lösungsmitteln über. Die Lösungsmittel waren gewöhnlich Essigäther, Aceton oder Ätheralkohol; für ein in England viel gebrauchtes Pulver dieser Art wandten Judson und Borland auch ein Lösungsmittel der Nitrocellulose an, welches ursprünglich für ganz andere Zwecke diente. Im Jahre 1869 fanden die Gebrüder Hyatt in Newark im Staate New York, dass sich Kollodiumwolle in geschmolzenem Kampfer löst und mit ihm eine nur sehr schwach nach Kampfer riechende, bei Verwendung reiner Materialien sehr gleichmässige Masse bildet, die zwar leicht brennbar ist, jedoch durchaus nicht den Charakter eines Explosivstoffes zeigt, bei gewöhnlicher Temperatur ganz wie Elfenbein, Horn o. ä. bearbeitet und in erwärmtem Zustande durch Pressen leicht in jede beliebige Form gebracht werden kann, die endlich auch jede beliebige Färbung leicht annimmt. Dieses von den Erfindern so genannte „Celluloid“ hat seitdem als Ersatz für Elfenbein, Schildpatt, Horn, Alabaster und andere kostbaren Steinarten, Hartkautschuk, Guttapercha u. v. a. eine so ausgebreitete Anwendung gefunden, dass es kaum eine Industrie giebt, die sich seiner nicht in irgend einer Art bediente (vgl. Böckmann, Das Celluloid, Wien 1894). Man kann Celluloid auch „auf kaltem Wege“ herstellen, indem man Nitrocellulose und Kampfer in Ätheralkohol auflöst; nach dem

ursprünglichen und wohl noch heute am häufigsten angewandten Verfahren wird aber die Kollodiumwolle nur in dem Kampfer aufgelöst, welcher mit ihr innig vermischt und dann unter Druck durch Erhitzen zum Schmelzen gebracht wird. Eine innige und gleichmässige Vermischung erzielt man am besten dadurch, dass man den Kampfer in einer nur ihn, nicht aber die Nitrocellulose lösenden Flüssigkeit — meistens in Alkohol — auflöst, mit der Lösung die Nitrocellulose tränkt und das Lösungsmittel abdampft. Dieses Verfahren wandten Judson und Borland auf ihr Pulver an. Die aus Kollodiumwolle und Salpeter gebildeten Körner wurden mit einer schwachen Lösung von Kampfer in Benzol getränkt und durch Erhitzung bis zum Schmelzen des in den Körnern zurückgebliebenen Kampfers amorphisiert.

Nachdem die Gelatinierung Pulver ergeben, die trotz eines jetzt oft sehr geringen Gehaltes an Salpeter für Jagdzwecke durchaus nicht zu brisant waren, lag es anscheinend für jeden Sachverständigen nahe, einen Schritt weiterzugehen und durch Gelatinierung und Pressung die Herstellung auch für die Kriegsfeuerwaffen brauchbarer Nitrocellulosepulver zu versuchen. Auf Grund dieses Anscheines hat man von einigen Seiten den Wert der die neueste Entwickelungsperiode der Nitrocellulosepulver einleitenden Erfindung Vieille's zu verkleinern gesucht. Es ist jedoch schon aus den ersten Kapiteln dieses Buches bekannt, dass im Anfang der achtziger Jahre die meisten Kriegswaffen-Techniker eher von allen anderen in Betracht kommenden rauchschwachen Treibmitteln Erfolge erhofften, als gerade von der Nitrocellulose; und wie wenig noch im Jahre 1886 Fachleute ersten Ranges eine solche Entwickelung der Schiessbaumwolle, wie sie noch im Laufe desselben Jahres allgemein bekannt wurde, erwarteten, wird am deutlichsten die Beschreibung eines Versuches zeigen, welchen Prof. Hebler im ersten Bande seines schon mehrfach erwähnten Werkes (Zürich und Leipzig 1886) S. 74 giebt. Der Versuch wurde mit einer Ladung von 4,6 g Schiesswolle vorgenommen, die feucht in die Hülse gepresst und dann getrocknet worden.

„Zur Probe nahm ich ein Gewehr mit äusserst starkem Verschluss. — Es war bei diesem Experiment natürlich die höchste Vorsicht nötig, denn es liess sich annehmen, dass die komprimierte Schiessbaumwolle wahrscheinlich bedeutend schneller verbrennen, also viel brisanter wirken würde, als das komprimierte Pulver. — Es war auch denkbar, dass vielleicht die komprimierte Schiessbaumwolle nicht explodieren (successive verbrennen), sondern sogar detonieren (momentan[1]) sich in Gas auflösen) könnte. Wenn dieser Fall eintrat, so hätte der Verschluss, resp. das Patronenlager, dem blitzschnell entstehenden

[1]) D. h. wohl in einer sehr kurzen Zeit; absolut gleichzeitig können sich alle Teile einer Ladung nie zersetzen. (Anm. d. Verf.)

ungeheuren Druck jedenfalls nicht widerstehen können, sondern es wäre eine Explosion eingetreten; — diese Möglichkeit zwang zu grösster Vorsicht; — das Gewehr wurde festgebunden, und am Drücker eine lange Abzugsschnur befestigt. — —

„Die erwartete Möglichkeit trat ein. — —

„Das Patronenlager ward in lauter grössere und kleinere Stücke zersprengt, und diese Explosion geschah so blitzschnell, dass das Geschoss nicht einmal Zeit hatte, sich recht in Bewegung zu setzen, sondern zu hinterst im Laufe stecken blieb. Der Schaft des Gewehres ging in Stücke, und diejenige Partie desselben, welche sich unter der Patrone befand, ward einfach weggerissen, und es konnte kaum mehr etwas davon aufgefunden werden; der Putzstock wurde ebenfalls abgerissen. —

„Es muss hier also unbedingt Detonation stattgefunden haben, gerade so, wie es bei einer Ladung aus Dynamit oder Knallquecksilber geschehen würde.

„Da auch die übrigen neuen Treibmittel ähnliche Zusammensetzung haben, wie die Schiessbaumwolle, so müssen sie sich, wenn sie ebenso behandelt, d. h. in der zweiteiligen Hülse komprimiert werden, auch ähnlich verhalten wie diese; wenn auch nicht in jedem Fall und unter allen Umständen Detonation eintritt, so sind diese Stoffe doch sämmtlich mehr oder weniger hierzu geneigt, und man wäre bei Verwendung solcher rauch- und rückstandfreier Treibmittel in komprimierter Form niemals ganz sicher, ob nicht das Gewehr in Stücke gehen werde. —

„Es liegt daher auf der Hand, dass das schwarze Pulver noch nicht in Gefahr ist, in Bälde verdrängt zu werden,[1]) und dass es deshalb keine undankbare Arbeit sein wird, dasselbe möglichst zu vervollkommnen“ u. s. w.

Während diese Zeilen im Druck erschienen, war es Vieille bereits gelungen, ein vollkommen kriegsbrauchbares rauchschwaches Schiessbaumwollpulver herzustellen, welches zunächst in Frankreich mit dem von Lebel konstruierten Infanteriegewehr M/1886 zur Einführung gelangte und im Verein mit seinen Abkömmlingen bald das schwarze Pulver vom Gebiete der Kriegsfeuerwaffen fast ganz verdrängte. —

[1]) Im Original fett gedruckt. (Anm. d. Verf.)

IX.

Die Nitrocellulosepulver der Gegenwart.

Wie jede wertvolle militärische Erfindung von dem sie besitzenden Staat möglichst lange geheim gehalten wird, damit der voraussichtlichen Gegnern abgewonnene Vorsprung möglichst lange bewahrt bleibt, so war auch das französische Vieille-Pulver anfangs der Gegenstand einer strengen Geheimhaltung. Es liegt aber in der Natur der Sache, dass die Geheimhaltung eines zu seiner Benutzung für die Bedürfnisse einer grossen Wehrmacht stets Hunderte von Personen erfordernden Verfahrens schon durch die Mitwisserschaft dieser Hunderte sehr erschwert wird; und noch weit problematischer wird das Geheimnis, wenn das Produkt, um benutzt zu werden, in die Hände von Hunderttausenden, — unter denen es natürlich stets „räudige Schafe" giebt, — gelangen muss, und derart beschaffen ist, dass man ihm seine Zusammensetzung und das zu seiner Herstellung benutzte Verfahren anmerken kann.

Die zuletzt genannten Umstände trafen bei dem Vieille-Pulver zu. Chemische Analysen der ins Ausland gelangten Proben ergaben als Inhalt der das Korn dieses Pulvers bildenden quadratischen, etwa einen Millimeter im Geviert messenden und wenige Zehntel Millimeter starken, graubraun-durchscheinenden Blättchen nur Nitrocellulose, die sich in Ätheralkohol zum teil löslich, zum teil unlöslich zeigte; eine progressive Struktur, die anfangs nach einigen Zeitungsäusserungen vermutet wurde,[1]) war an Korndurchschnitten nicht festzustellen; dagegen zeigte das Produkt durch hohes specifisches Gewicht (ca. 1,6) eine starke Verdichtung der amorphen Nitrocellulose an, wie man sie z. B. bei dünnen Celluloidplatten (vgl. S. 265) längst vermittelst geheizter Walzen zu erzielen gewohnt war. Es konnte

[1]) Vgl. „Beschreibung des französischen Armee-Gewehrs M/86 (System Lebel)," Hannover 1888, bei Helwing, S. 5 und 17—18.

also nicht fehlen, dass bald viele Staaten „rauchschwache Blättchenpulver" einführten und deren Herstellung binnen kurzem allgemein bekannt wurde.

Geht man bei der Fabrikation von fertiger Nitrocellulose und einem fertigen Lösungsmittel aus, so sind zur Herstellung rauchschwachen Blättchenpulvers im wesentlichen nur vier Operationen nötig: die Auflösung der Nitrocellulose in dem Lösungsmittel, das Walzen der Gelatine, das Schneiden und das Graphitieren der Blättchen.

Um möglichst wenig von dem Lösungsmittel verwenden zu können, nimmt man die Lösung fast nur in Mengewerken vor, die die mit dem Lösungsmittel befeuchtete Nitrocellulose durch Kneten und Mengen in einen dicken, gelatinösen Brei verwandeln. Kommt hierbei keine an sich explosive Flüssigkeit (Nitroglycerin) zur Verwendung, so muss zwar bei der Mengeoperation, da die Lösungsmittel meistens brennbare Dämpfe entwickeln, Feuer sorgfältig fern gehalten werden; doch ist sie nicht unmittelbar explosionsgefährlich, so dass zu ihrer Ausführung alle möglichen in anderen Industrieen gebräuchlichen Misch- und Knetmaschinen verwendet werden können und zum teil verwendet worden sind. Schon sehr bald nach dem Aufkommen der modernen Nitrocellulosepulver haben aber die für diese Pulver bestimmten Mengewerke einer Firma: der Cannstatter Misch- und Knetmaschinen-Fabrik von Werner und Pfleiderer in Cannstadt (Württemberg) allen anderen Maschinen gleicher Bestimmung so sehr den Rang abzulaufen angefangen, dass sie heute als die verbreitetsten Maschinen zur Herstellung rauchschwachen Pulvers zu bezeichnen sind.

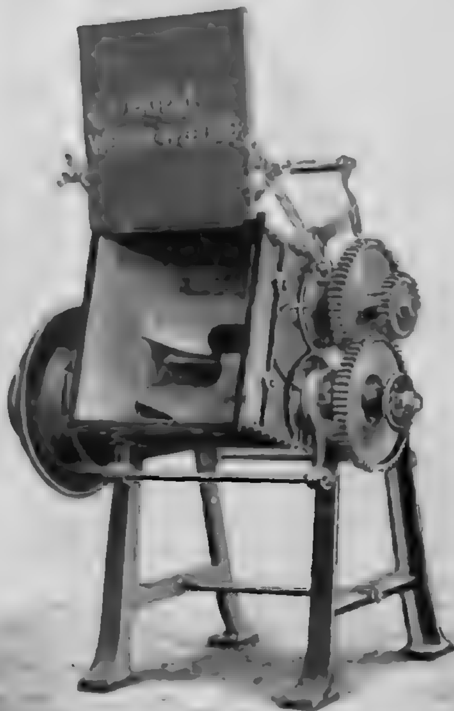


Abb. 32. Misch- und Knetmaschine von Werner und Pfleiderer (mit halbgekipptem Mischtrog und abgenommenem Rädermantel).

Abb. 32 (S. 269) zeigt das von Werner und Pfleiderer angewandte Prinzip an einem kleinen Mengewerk, ohne die speziellen Pulverfabrikations-Einrichtungen. Den Boden des Knettroges bilden zwei cylindrische Rinnen, in denen sich zwei Knetschrauben in entgegengesetzter Richtung und mit verschiedener Geschwindigkeit drehen. Die bearbeitete Masse

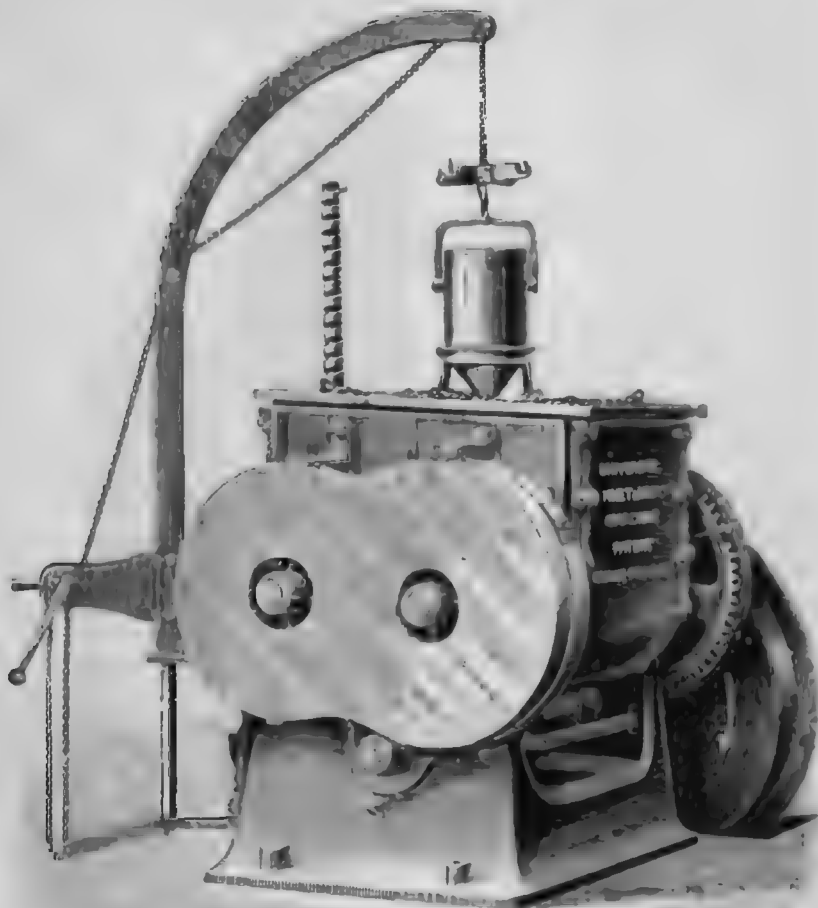


Abb. 33. Misch- und Knetmaschine für rauchschwaches Pulver von Werner und Pfleiderer (mit aufgesetztem Deckel und Äthergefass).

wird also gezwungen, fortwährend im Knettrog zu kreisen (ähnlich, wie der Brei in einem Holländer, vgl. S. 206—207), und zugleich abwechselnd an einem Ende des Troges zusammendrückt und am anderen auseinandergezogen, so dass man mit den einfachsten Mitteln eine ganz vorzügliche Misch- und Knetwirkung erzielt. Damit man die Maschine im Bedarfsfalle leicht vorwärts- und rückwärts-, sowie mit veränderter

Geschwindigkeit laufen lassen kann, bringen Werner und Pfleiderer einen Reversier-Apparat (links in Abb. 32) und eine veränderliche Zahnrad-Übertragung (rechts auf dem Bilde sichtbar) an. Ist die Masse genugend bearbeitet, so kippt man den Trog um (bei grösseren Maschinen erfolgt dies durch die Wirkung von Gewichten oder einer Schraubenspindel),

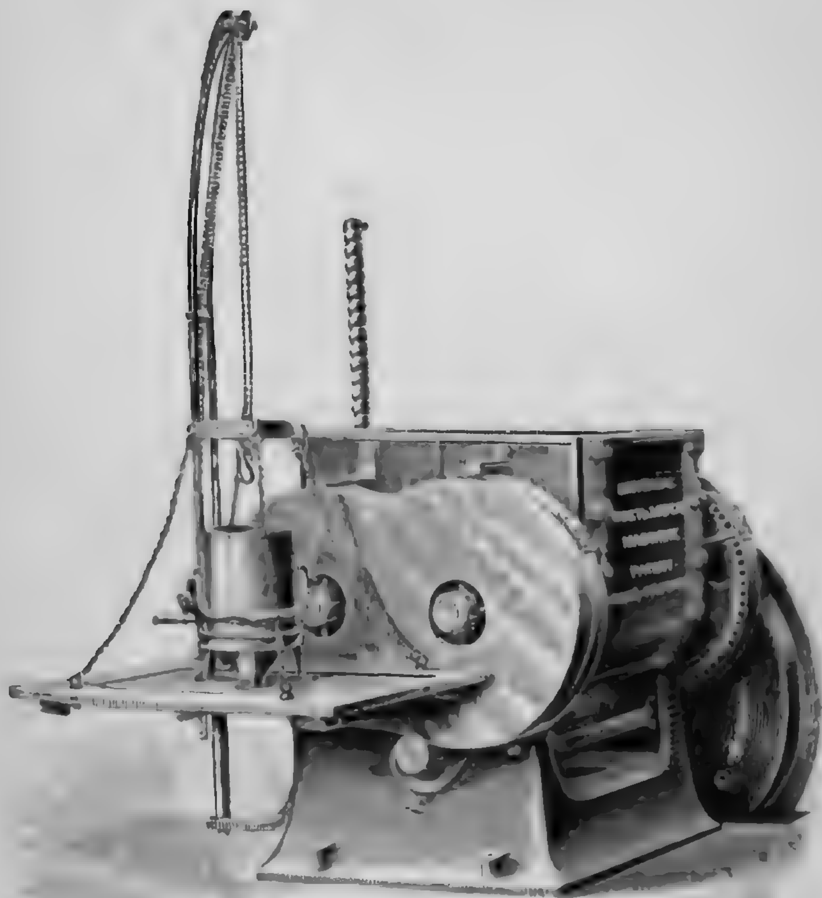


Abb. 34. Misch- und Knetmaschine für rauchschwaches Pulver von Werner und Pfleiderer (mit abgenommenen Deckel und Äthergefäss).

und die Drehung der Knetschrauben entleert ihn in ein geeignetes Gefäss (für grössere Mengen gewöhnlich einen niederen Transportwagen).

Maschinen dieses Systems sind seit langem in vielen Industrieen in Gebrauch. Speziell für die Bearbeitung von Explosivstoff-Gelatinen haben sie einige Vervollkommnungen erhalten, die sich sehr bewährt haben. Damit die Gelatine während der Bearbeitung erwärmt oder (bei stark

reibenden und empfindlichen Bestandteilen) gekühlt werden kann, haben die Knetttröge doppelte Wände für die Dampf- oder Wasserzirkulation erhalten. Zum gleichen Zwecke hat man zum teil auch hohle Knetschrauben angebracht. Um das Entweichen von Äther- oder Acetondämpfen während der Zuführung der flüchtigen Flüssigkeiten und des Mengens zu verhüten, kann der Mischtrog mit einem schweren, genau passenden Deckel luftdicht verschlossen werden. Die flüchtige Flüssigkeit wird erst nach der Schliessung des Deckels in den Knettrog gebracht; bis dahin befindet sie sich in einem auf den Trogdeckel dicht aufsetzbaren, mit Absperr-Ventil, Ausflussrohr und Deckel versehenen Gefäss, welches, wie die Abb. 33 und 34 zeigen, vermittelst einer Krahnen-Einrichtung zusammen mit dem Trogdeckel oder von ihm unabhängig herabgelassen oder hochgezogen werden kann. Kommt beim Gelatinieren Nitroglycerin zur Verwendung, so handelt es sich weniger um einen gasdichten Abschluss der bearbeiteten Masse, als vielmehr darum, dass das gegen mechanische Einflüsse sehr empfindliche Nitroglycerin nirgends zwischen reibende Maschinenteile geraten kann. In diesem Falle werden die Knetschraubenwellen der Werner und Pfleiderer'schen Mengewerke nicht unmittelbar in den Trogwänden gelagert, sondern sie gehen mit einem Spielraum von etwa einen halben Millimeter durch die Trogwände und sind ausserhalb dieser gelagert; damit sich auch nicht allmählich Nitroglycerin an der Knetschraubenaxe bis zum Lager hinziehen kann, sitzt zwischen Lager und Trogwand an der Axe eine feste, flache Scheibe, von der die aus dem Trog heraustretende und durch die Axe fortgeleitete geringe Flüssigkeitsmenge in ein untergestelltes Gefäss abtröpfelt.

Je weniger Flüssigkeit bei der Gelatinierung angewendet wird, desto länger muss im allgemeinen das Kneten dauern, um eine durchaus gleichförmige Gelatine zu ergeben, und da die Verwendung von möglichst wenig Flüssigkeit schwerer ins Gewicht zu fallen pflegt, als die sonst zu erzielende Ersparnis an Zeit und Betriebskraft, so dauert die Mengeoperation in den Fabriken stets mehrere Stunden. Unmittelbar an sie schliesst sich für die Herstellung von Blättchenpulvern das Walzen der Pulvermasse an.

Diese Operation pflegt die vollkommensten Resultate zu ergeben, wenn die Pulvermasse vor dem Auswalzen zu den papierdünnen Blättchen erst zu stärkeren Platten vorgewalzt wird. In grösseren Fabriken hat man zu diesem Zwecke besondere Vorwalzwerke. Ein solches in der sehr bewährten Konstruktion des Krupp'schen „Grusonwerkes" in Magdeburg-Buckau zeigt Abb. 35. Es besteht im wesentlichen aus drei durch Dampf heizbaren Hartgusswalzen, von denen zwei nebeneinander angeordnet sind, während die dritte unter ihnen liegt. Die aus dem Mengewerk kommende Gelatine wird in den auf der Abbildung oben sichtbaren

Trichter gefüllt und gelangt unter der Einwirkung einer in dem Trichter angeordneten Rührvorrichtung erst zwischen die oberen Walzen, um dann auch der Einwirkung der unteren Walze zu unterliegen. Eine durch Gewichte an die vordere obere Walze angedrückte Abstrichplatte verhindert, dass sich die zwischen den Walzen hervortretende Gelatineplatte, anstatt auf den Presstisch herauszugleiten, an der Walze hochzieht. Die vorgewalzten Gelatineplatten werden dann in einem Feinwalzwerk vollends ausgewalzt. Dieses hat zwei heizbare Walzen, die übereinander liegen und vermittelst Handrad (in Abb. 36 oben rechts sichtbar), Schrauben-

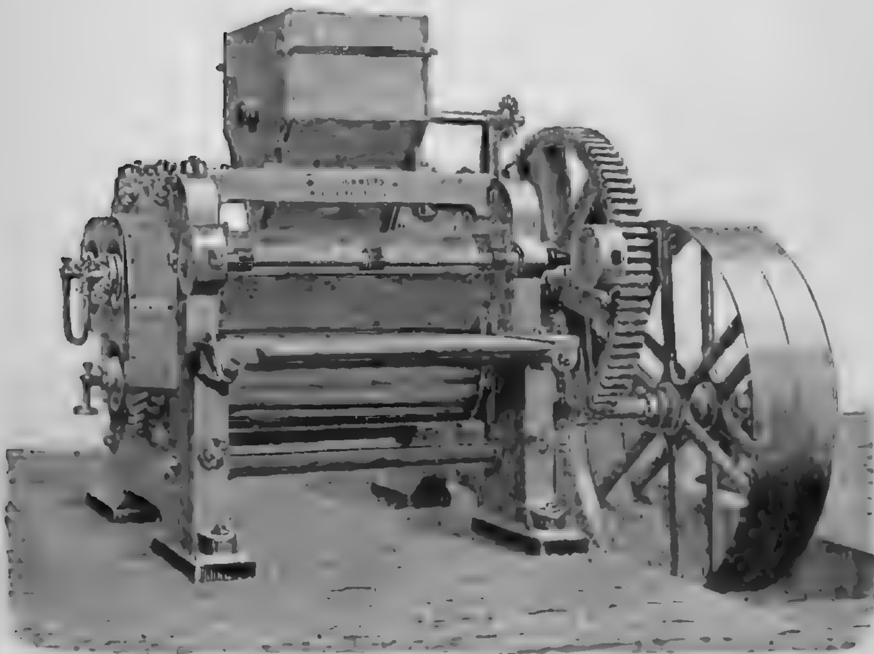


Abb. 35. Vorwalzwerk für rauchschwaches Pulver von F. Krupp-Grusonwerk.

spindel und Schneckenrädern in ihrer Entfernung von einander verstellbar sind, so dass man nach Belieben feinere oder stärkere Blätter erzeugen kann.

Mit dem Feinwalzwerk walzt man die Pulverplatten für militärische Zwecke meistens auf etwa 0,3 mm (Pulver für Handfeuerwaffen) bis 0,7 mm (Geschützpulver) aus. Da, wie bereits mehrfach erwähnt, die bei starker Vorlage in Feuerwaffen sehr schnell verbrennende Nitrocellulose bei schwacher Vorlage unter Umständen sogar überhaupt keine als Explosion zu bezeichnende Verbrennung ergiebt (vgl. S. 135 und 160—163), macht man Blättchenpulver für Jagdzwecke, welche bei ihrer Explosion nur

den Widerstand einer Schrotladung zu überwinden haben,[1]) durch Auswalzen zu geringerer Dicke — im Durchschnitt etwa 0,1 mm, — also im Verhältnis zur enthaltenen Masse grössere Oberfläche, schneller verbrennlich, als die Blättchenpulver für die scharfe Munition von Kriegshandfeuerwaffen, und noch feiner werden, wo man für Platzpatronen und Manöverkartuschen besondere Blättchenpulver hat, diese hergestellt.

Anstatt des Vor- und Feinwalzwerkes hat man in kleineren Betrieben auch Walzwerke mit zwei schräg übereinander liegenden, stellbaren Walzen, die zum Vor- und Feinwalzen dienen können.

Während des Auswalzens gelatinierter Nitrocellulose durch geheizte Walzen hört man gewöhnlich von Zeit zu Zeit knatternde Geräusche, welche von Vielen dem Platzen von Luftblasen in dem gewalzten Blatt zugeschrieben werden; ein solcher Vorgang mag wohl manchmal stattfinden, meistens sind jedoch, wie Guttmann[2]) treffend bemerkt, an den Detonationsstellen lokale Brandspuren zu bemerken, so dass an das Explodieren im Mengewerk ungelatiniert gebliebener Nitrocelluloseteilchen zu denken ist, die sich auf die gelatinierte und noch sehr weiche Nitrocellulose nicht fortpflanzen und daher ganz ungefährlich sind. Im Knetwerk ungelatiniert gebliebene Nitrocellulosepartikeln, welche beim Walzen nicht an die Oberfläche der gewalzten Platte zu liegen kommen, werden während des Walzens durch die Einwirkung des Druckes und der Wärme gelatiniert, so dass die Gelatineplatte das Feinwalzwerk in viel homogenerem Zustände verlässt, als sie aus dem Vorwalzwerk gekommen. Die gleichmässige Durchgelatinierung ist bei den dünnen Platten durch deren gleichmässige Durchscheinlichkeit leicht zu kontrollieren.

---

[1]) Dem Schrotschuss der Handfeuerwaffen entspricht bekanntlich bei Geschützen der Kartätschschuss. Es hat sich nun z. B. in Russland bei der Einführung rauchschwachen Blättchenpulvers gezeigt, dass Kartätschbüchsen, welche durch das Rohr getrieben werden konnten, ohne zertrümmert zu werden, dem Nitrocellulosepulver oft einen so ungenügenden Widerstand entgegensetzten, dass man überhaupt keinen Kartätschschuss erhielt, sondern nur die ganzen Büchsen sammt Füllung mit geringer Kraft ausgeworfen wurden (Mittheil. über Gegenstände des Artillerie- u. Genie-Wesens, 1894, Heft 7). Giebt man der Kartätschbüchse an ihrer Oberfläche einen starken Ring nach Art der Führungsringe der Spitzgeschosse, so dass sie nicht als Ganzes das Rohr passieren kann, so entwickelt sie bei ihrer Zertrümmerung einen genügenden Widerstand, und auch für Manöver- und Salutschüsse ist ein besonderes Blättchenpulver entbehrlich, wenn man genügend feste Vorlagen anwendet; doch hat man selbst schon beim Kartätschschuss und noch öfter beim blinden Schuss mit Nitrocellulosepulver als leicht in die Sinne fallendes Zeichen der weniger vollständigen Verbrennung eine stärkere Färbung und einen saureren Geruch der beim scharfen Schuss für Gesicht und Geruch wenig wahrnehmbaren Explosionsgase bemerkt.

[2]) Sehr interessanter Vortrag in der „Society of Chemical Industry“ in London, übers. in „Dingl. Polyt. Journ.“; 1894, Bd. 293, Heft 4—6 (daraus auch Abb. 37—39).

Ist bei der Gelatinierung ein flüchtiges Lösungsmittel zur Anwendung gekommen, so ist es natürlich wünschenswert, dieses Lösungsmittel, nachdem es seinen Zweck erfüllt hat, aus dem Produkt möglichst vollkommen zu entfernen; denn wenn das Pulver beim Verlassen der Fabrik noch Äther o. ä. enthält, so wird es diesen beim Lagern allmählich abgeben, mit der Zeit immer reinere und zugleich immer porösere Nitrocellulose enthalten und daher in seiner Wirkung nicht gleichmässig bleiben. Man sucht deshalb auch schon das Walzen so einzurichten, dass es von der im Pulver enthaltenen flüchtigen Substanz möglichst viel entfernt. In dieser Hinsicht hat es sich als vorteilhaft erwiesen, die Walzen nicht

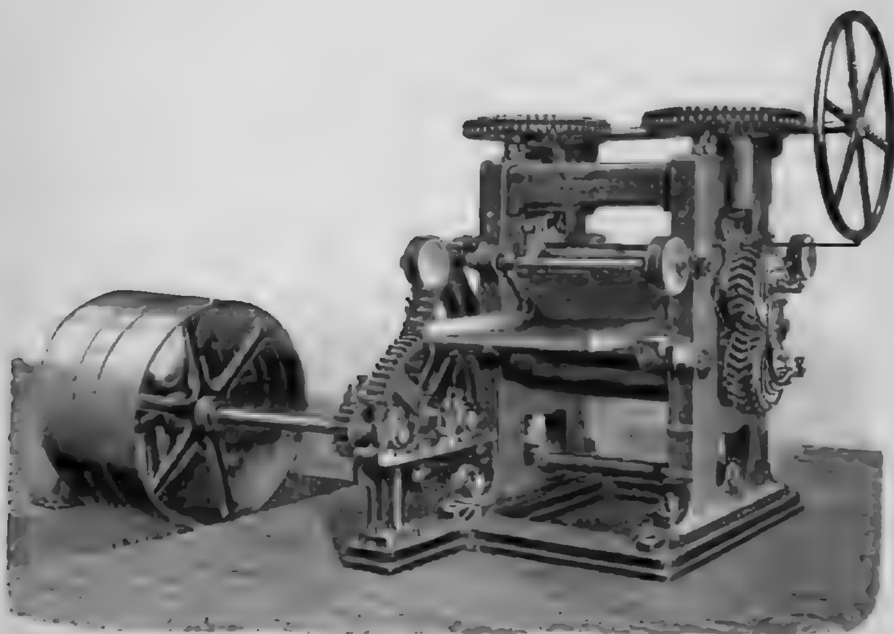


Abb. 36. Feinwalzwerk für rauchschwaches Pulver von F. Krupp-Grusonwerk.

zu stark zu heizen, weil sonst die obersten Schichten des Pulverblattes zu schnell ausgetrocknet und zugleich durch die hohe Wärme und den Druck verdichtet werden, so dass das in den Mittelschichten enthaltene Lösungsmittel schwer entweichen kann. Die Temperatur, welche den Walzen durch ihre Dampfheizung erteilt wird, richtet sich im allgemeinen nach dem Siedepunkt der angewandten Lösungsmittel und bleibt unterhalb etwa 60° C.; auch bei Pulvern, welche kein flüchtiges Lösungsmittel enthalten, werden erheblich höhere Walzentemperaturen wohl kaum angewandt, da, wie bereits aus Kap. VII bekannt, manche nicht gerade schlecht zu nennenden Nitrocellulosesorten schon bei 70° C. nicht ganz stabil bleiben.

Um die fertig gewalzten Pulverplatten zu kleinen Blättchen zu zerschneiden, hat man Maschinen sehr verschiedener Konstruktionen, die jedoch sämmtlich auf dem in Abb. 37 schematisch dargestellten Prinzip beruhen. Die Pulverplatte wird zuerst durch zwei Messerwalzen (rechts in der Abbildung) in Streifen zerschnitten. Die Messerwalzen bestehen aus je einer Reihe von Kreismessern, die auf einer gemeinschaftlichen Welle sitzen und durch Einlagscheiben in geeigneten Entfernungen von einander gehalten werden. Früher gebrauchte man einfache Kreismesser, die an den beiden Walzen ineinandergriffen, wie Abb. 38 zeigt, doch verursachten diese oft ein Verstopfen der Maschine, und man zieht gegenwärtig Kreismesser mit doppelter, U-artiger Schneide (Abb. 39) vor. Zwischen die Kreismesser der beiden Walzen greifen zwei Kämme, welche die aus der Pulverplatte geschnittenen Streifen sofort auf eine feststehende, den Walzenaxen parallele Schneide leiten, gegen die zwei (manchmal auch 4) längs einer gemeinschaftlichen Welle angeordnete Messer rotieren, so dass die Pulverstreifen sogleich zu Blättchen zerschnitten werden. Man reguliert das Verhältnis der Umdrehungsgeschwindigkeit der Quermesser zu derjenigen der Kreismesser gewöhnlich so, dass genau quadratische Blättchen von etwa 1—3 mm Seitenlänge entstehen. Die bereits erwähnten besonders dünn gewalzten Pulver für blinde Schüsse zerschneidet man bisweilen in ganz feine rechteckig-prismatische Spänchen, indem man die Quermesser im Verhältnis zu den Messerwalzen sehr schnell arbeiten lässt.

Abb. 38. Abb. 39.

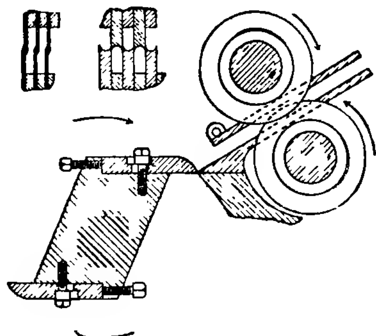


Abb. 37.
Schneidewerk für rauchschwaches Pulver.

Durch das Zerschneiden werden die Mittelschichten der Pulverplatte an vielen Stellen blossgelegt, und wenn die Gelatine ein flüchtiges Lösungsmittel enthält, so kann dieses jetzt am besten entfernt werden. Man trocknet das Pulver in gewöhnlich durch Dampfrohre geheizten Räumen, in denen durch Ventilation für ausreichenden Luftwechsel gesorgt ist. — Die immer sehr langsam entweichenden und dabei schwer wieder zu verflüssigenden Lösungsmittel beim Trocknen des Pulvers aufzufangen und wiederzugewinnen, hat sich praktisch als nicht mit Vorteil durchführbar erwiesen. —

Nach dem Trocknen ist das Pulver gebrauchsfähig; doch thut man besser, es vorerst noch zu graphitieren. Schon an den ersten überhaupt hergestellten Proben amorpher Nitrocellulose wurde, wie aus dem Früheren bekannt, eine auffallend starke Neigung, durch Reiben elektrisch

zu werden, beobachtet; diese Neigung besitzen auch die modernen Nitrocellulosepulver in hohem Masse. Schüttelt man ein solches Pulver in einer Glasröhre, so kann man leicht beobachten, wie die elektrisch werdenden Körner einander immer stärker abstossen, so dass sie infolge des Rüttelns, welches unelektrische Körner natürlich nur immer dichter lagern würde, einen immer grösseren Raum einnehmen. Diese Erscheinung kann auch bei Pulver, welches abgemessen wird oder sich schon in der Patronenhülse befindet, eintreten, und da ihre Intensitität, gerade wie die Leistung einer Elektrisiermaschine, je nach der Stärke der Reibung und dem Feuchtigkeitsgehalt der Luft wechselt, so entstehen hierdurch schädliche Verschiedenheitsquellen im Gewicht der abgemessenen Ladungen und in der Dichte der Lagerung des Pulvers im Ladungsraume. Das namentlich bei verschiedenen Geschütz-Blättchenpulvern, welche sich bei Befeuchtungs- und Trocknungsversuchen durchaus nicht hygroskopisch zeigten, beobachtete Schwanken der Schussleistungen je nach dem Feuchtigkeitsgehalt der Luft dürfte dadurch zu erklären sein, dass, wenn feuchte Luft die Elektrizität der Pulverblättchen ableitet, die Ladung dichter liegt und daher langsamer verbrennt. Befindet sich die Ladung anstatt, wie bei Geschützen meistens der Fall, in einem oft sehr gut isolierenden (rohseidenen) Kartuschsack, in einer Metallhülse, so ist eine Ansammlung von Elektrizität selbst in ungraphitiertem oder schlecht graphitiertem Pulver natürlich weniger begünstigt; stets arbeitet man ihr aber wirksam entgegen, indem man das Pulver gut graphitiert, was ganz wie bei Schwarzpulver durch einfaches Rollen mit etwas Graphit im Rollfasse geschicht.[1]) Durch die Graphitierung werden die Körneroberflächen leitend und vermitteln ein leichtes Abfliessen der Elektrizität.

Die geringe Menge Graphit, welche die Pulverkörner bei der zuletzt geschilderten Operation an ihrer Oberfläche aufnehmen, vermehrt den Rauch und Rückstand nicht merkbar, und wenn das Pulver sonst nur aus Nitrocellulose besteht, so ergiebt es natürlich keine anderen Explosionsprodukte, als die, welche wir im VII. Kapitel bei der Schiessbaumwolle ursprünglicher Struktur kennen gelernt haben, und ist annähernd rauch- und rückstandsfrei; die übrigen dort genannten Vorzüge der Schiess-

[1]) Auch hierbei bildet sich — namentlich im Anfang der Operation, wo die Graphitierung noch wenig fortgeschritten ist — Elektrizität, und zwar manchmal in solchen Mengen, dass das Laden einer Leydener Flasche mit ihr leicht gelingt. Es ist also nur ein Akt angebrachter Vorsicht, wenn man die Graphitiertrommeln für Nitrocellulosepulver mit elektrischer Ableitung zur Erde versieht. Güttler in Reichenstein hat sogar bei der Bearbeitung von Schwarzpulver so starke Entwickelung von Elektrizität — wohl hauptsächlich infolge des Schwefelgehaltes des Schwarzpulvers, vgl. S. 2 — nachgewiesen, dass das Anbringen von Erdleitungen an den Maschinen geraten erschien.

baumwolle, die als ausschliessliche oder teilweise Folgen der grossen Verbrennungsgeschwindigkeit nachgewiesen wurden, sind mit dem Fortfall der übermässigen Brisanz etwas herabgesetzt, doch nicht annähernd in einem solchem Masse, dass der Gesammtwert der durch Vieille erzielten Herabsetzung der Brisanz der Nitrocellulose dadurch beeinträchtigt erschiene. Durch diese Herabsetzung ist die Nitrocellulose überhaupt erst als Treibmittel für die Kriegsfeuerwaffen brauchbar geworden. Während früher selbst auf Reihen von höchstens einigen Hunderten von Schüssen unter sorgfältigster Behandlung der Munition und der Waffen beschränkte militärische Schiessversuche mit Nitrocellulose stets mit gesprengten oder beschädigten Waffen endeten, ist das in Frankreich im Jahre 1886 für das Vieille-Pulver konstruierte Infanterie-Gewehr (vgl. S. 139—140) jetzt seit fast zehn Jahren in Gebrauch und hat in dieser Zeit bei Friedensübungen wie in Feldzügen, die in tropischen Ländern und unter für die Erhaltung des Materiales ungünstigsten Umständen stattfanden, sich stets bewährt. Vereinzelte Sprengungen von Gewehrläufen und -Verschlüssen sind natürlich in der ersten Zeit weder in Frankreich, noch in den anderen Ländern, die nach seinem Vorbilde Nitrocellulosepulver einführten, ausgeblieben, doch hat heute die Technik diese Kinderkrankheiten der modernen Pulver und der zugehörigen Waffen schon völlig überwunden.[1])

Es haben sich im Laufe der Zeit sogar einige Mittel als nicht unbedingt notwendig erwiesen, durch welche die Konstrukteure des französischen Gewehres M/1886 die Vorzüge ihres Pulvers unterstützen zu müssen glaubten. Der Pulverraum der Patronenhülse des Gewehres M/1886 ist grösser, als die Ladung von 2,8 g Pulver zu ihrer Unterbringung erfordert, so dass, wie einst bei den v. Lenk'schen Schiesswollladungen, ein leerer Raum zur Herabsetzung des Gasdruckes verbleibt. Diese Einrichtung ist bei den Waffen, welche zeitlich unmittelbar auf das französische M/1886 folgten, nachgeahmt worden; später hat man sich überzeugt, dass gute gelatinierte Nitrocellulosepulver auch in vollen Hülsen nicht zu brisant wirken. Das 15 g schwere Geschoss des Lebel-Gewehres ist bei 8 mm Kaliber annähernd 4 Kaliber lang, bedarf also, um auf seiner Flugbahn stets mit der Spitze nach vorn zu fliegen, einer weit schnelleren Rotation um seine Axe, als die früheren, selten erheblich über $2^1/_2$ Kaliber langen Geschosse, d. h. man musste den Zügen des Laufes einen sehr starken Drall (eine Umdrehung auf 24 cm Lauflänge) geben. Schon früher hatten

[1]) Als Maximal-Gasdrücke in den 8 mm-Gewehren bei Anwendung von rauchschwachen Pulvern aus Nitrocellulose ohne Zusatz anderer Explosivstoffe werden etwa 2200—3000 Atmosphären angegeben; doch sind diese Ziffern aus den schon im Vorwort berührten und im IV. Kapitel näher dargelegten Gründen wenig wertvoll, und das Verhalten der Gewehre bei fortgesetztem Schiessen bleibt der einzige Massstab für die Brisanz der Pulver.

der preussische Major Bode und nach ihm andere Waffentechniker die Befürchtung geäussert, man würde bei einer Verkleinerung der Gewehrkaliber und daraus erfolgenden Verlängerung der Geschosse und Verkürzung der Dralllängen gewöhnliche Bleigeschosse nicht mehr verwenden können, ohne dass Überreissen der letzteren über die Züge eintrete, und zur Abhülfe die Panzerung der Geschosse mit dünnen Mänteln von widerstandsfähigerem Metall vorgeschlagen. Bei den Nitrocellulosepulvern glaubte man das Überreissen noch ganz besonders befürchten zu müssen (vgl. S. 166 und 264) und gab dem Geschoss des Lebel-Gewehres einen aufgeprägten Mantel von Kupfer-Nickellegierung (nach der „Agenda de l'Armée française" für 1890 aus 78 % Kupfer und 22 % Nickel); andere Geschosse erhielten Mäntel von dünnem Stahlblech. Als Hauptvorzug dieser Mantelgeschosse ergab sich eine sehr erhöhte Durchschlagskraft; für das französische M/1886 giebt der „Aide-mémoire de l'officier d'État-major en campagne" folgende Versuchsdaten:

Ziel	Durchschossene Stärke (in cm) auf der Entfernung von			
	100 m	500 m	1000 m	2000 m
Gesetzte Erdaufschüttung	60	52	37	16
Gefällter, unbehauener Tannenstamm . . .	65	26	13	5
Eichenholz	60	27	16	8
Stahl	0,7	0,3	.	.

Einen menschlichen Körper verwundet das Geschoss noch auf der grössten Entfernung von etwa $3^1/_2$ Kilometern derart, dass unbedingt Kampfunfähigkeit eintritt. Auf kürzere Entfernungen durchschlägt es mit Leichtigkeit mehrere Körper. Noch etwas grösser ist die Durchschlagskraft des deutschen Geschosses M/88, das annähernd dasselbe Gewicht und dieselbe Geschwindigkeit, aber einen Mantel von Nickelstahl besitzt; geringer hingegen die Durchschlagskraft aller Geschosse sonst gleicher Art mit Kupfermantel, so dass der grosse Nutzen eines festen Mantels für die Durchschlagskraft zweifellos ist; für eine gesicherte Führung kleinkalibriger, von Nitrocellulosepulver getriebener Geschosse in den Zügen aber ist, wie Major Rubin durch sein für das schweizerische Gewehr M/1889 eingeführtes Geschoss nachgewiesen hat, die Panzerung nicht nötig. Das Rubin'sche Geschoss hat nur auf der Spitze eine Stahlkappe, die es verhindert, beim Einschlagen in ein Ziel die bei ganz ungepanzerten langen Bleigeschossen oft beobachtete „Pilzform" anzunehmen, und ihm eine vollkommene befriedigende Durchschlagskraft sichert; der cylindrische

Teil ist aber, wie bei den älteren Geschossen, nur mit gefettetem Papier umwickelt, ohne dass die Sicherheit der Führung in den Zügen dadurch litte.

Das mittlere Verhältnis der Arbeitsleistungen aus reiner gelatinierter Nitrocellulose bestehender Kriegspulver in Feuerwaffen zu denen der alten Schwarzpulver ist, wie bereits aus dem Früheren (S. 130) bekannt, nicht erheblich ungünstiger, als das bei ungelatinierter Schiessbaumwolle im Vergleich zu Schwarzpulver im Mittel beobachtete von etwa 8 zu 3 (vgl. S. 130 und 196); vielfach erzielt man aber auch mit den modernen Pulvern Ergebnisse, die mit dem alten Pulver überhaupt nicht zu erzielen wären, da man äquivalente Mengen des alten Pulvers aus technischen Gründen überhaupt nicht anwenden könnte. Wollte man z. B. dem Geschoss des Lebelgewehres, welches von seiner 2,8 g schweren Blättchenpulverladung die Anfangsgeschwindigkeit (an der Laufmündung) von 632 m erhält, diese Geschwindigkeit durch Schwarzpulver erteilen, so würde man 7—8 g Schwarzpulver anwenden müssen; um nicht viel zu lang zu werden, müsste die Pulversäule unbedingt gepresst werden, und es würde sich dann der schon bei viel kleineren gepressten Pulverladungen unerträgliche Übelstand einer ungleichmässigen Verbrennung (vgl. S. 68) in noch höherem Masse geltend machen; auch würde die fortgesetzte Verbrennung so grosser Schwarzpulvermengen in einem engen Rohr wohl bald auch durch den Rückstand auf die Schusspräzision äusserst ungünstig einwirken.

Trotzdem, wie bereits erwähnt, manche Blättchenpulver ein gewisses Schwanken ihrer Leistungen je nach dem Feuchtigkeitsgehalt der Luft zeigen, hat sich durch die Einführung der modernen rauchschwachen Pulver die Präzision der Schusswaffen sehr gehoben. Wegen des fehlenden Rückstandes bleiben die Widerstände, welche das Geschoss im Rohre findet, während des Schiessens stets gleich und können keine Ungleichmässigkeiten in den ballistischen Ergebnissen hervorrufen, und keine Rauchwolke verhüllt den Schützen das Ziel. Der verringerte Rückstoss begünstigt ein ruhiges Schiessen. Selbst wenn man also mit dem rauchschwachen Pulver nur dieselben Geschosse mit den gleichen Geschwindigkeiten forttreibt, wie mit dem alten Pulver, erzielt man stets erheblich bessere Treffergebnisse. Durch die Einführung der modernen Pulver hat man aber auch weit gestrecktere Geschossflugbahnen erzielt, als früher je dagewesen; dadurch sind die bei praktischem gefechtsmässigem Schiessen so ausserordentlich schwer zu vermeidenden Fehler in der Entfernungsschätzung weit weniger schädlich und die Zufallstreffer weit häufiger geworden. Die nachstehende offizielle Schusstafel giebt bezeichnende Daten dafür, wie sehr z. B. bei den schon einmal (S. 136) genannten

dänischen 8 mm-Gewehr die Rasanz der Flugbahnen durch die Einführung eines Pulvers aus gelatinierter Nitrocellulose gestiegen ist. („N. G. P.“ bedeutet überall das für das dänische Gewehr neu hergestellte Schwarzpulver, welches infolge äusserst sorgfältiger Fabrikation die älteren Schwarzpulver erheblich übertraf, „R. P.“ das rauchschwache Pulver.)

		Pulver	Schussdistanz in Metern: 250	400	500	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2100	2200
Höhe des Visiers über dem Korn	mm	N.G.P.	2,47	5,49	7,98	10,85	17,77	26,33	30,61	48,69	62,65	78,57	96,53	.	.
		R.P.	0,56	3,00	5,08	7,52	13,48	20,88	29,72	40,00	51,72	64,88	79,48	87,32	95,52
Pfeilhöhe der Flugbahn	m	N.G.P.	0,35	1,13	2,04	3,3	6,9	12,9	21,2	32,5	47,4	66,1	89,2	.	.
		R.P.	0,25	0,87	1,62	2,7	6,0	11,4	19,1	29,9	43,9	61,9	84,2	97,1	111,0
Einfallswinkel		N.G.P.	0° 21′	0° 47′	1° 5′	1° 30′	2° 25′	3° 35′	5° 0′	6° 35′	8° 25′	10° 25′	12° 40′	.	.
		R.P.	0° 17′	0° 37′	0° 55′	1° 15′	2° 10′	3° 15′	4° 25′	6° 10′	8° 0′	10° 0′	12° 10′	13° 20′	14° 30′
Bestrichener Raum in Metern gegen Infanterie beim Richten auf	die Zielmitte	N.G.P.	345	148	97	71	42	27	18	13	10	8	7	.	.
		R.P.	362	464	105	76	45	30	21	15	12	10	9	8	7
	den Fusspunkt des Zieles	N.G.P.	250	400	136	82	46	29	19	13	10	8	7	.	.
		R.P.	250	400	500	103	59	32	22	16	12	10	9	8	7
Bestrichener Raum in Metern gegen Kavallerie beim Richten auf	die Zielmitte	N.G.P.	375	480	154	98	60	38	26	19	14	12	11	.	.
		R.P.	390	490	182	120	70	44	29	21	16	13	12	11	10
	den Fusspunkt des Zieles	N.G.P.	250	400	500	138	65	40	27	19	14	12	11	.	.
		R.P.	250	400	500	186	78	47	31	22	17	14	12	11	10

Total bestreichende Flugbahn (in m) gegen

Pulver	Infanterie, Richtung gegen die Zielmitte: vor dem Ziele	hinter dem Ziele	zusammen	Fusspunkt des Zieles	Kavallerie, Richtung gegen die Zielmitte: vor dem Ziele	hinter dem Ziele	zusammen	Fusspunkt des Zieles
N.G.P.	370	60	430	475	420	70	490	540
R.P.	400	65	465	515	460	75	535	585

Beschiesst man also z. B. mit dem rauchschwachen Pulver 500 m entfernte, stehende oder marschierende Infanterie (unter Zielen auf den Fusspunkt), so wird jeder stehende oder gehende Infanterist, der sich innerhalb dieser Strecke befindet, getroffen werden; denn die Geschosse erheben sich auf ihrer ganzen Flugbahn nicht über Mannshöhe. Schösse man mit dem Schwarzpulver, so würden nur 350 m oder weniger entfernten Leuten die Geschosse unschädlich über den Köpfen wegfliegen.

Aus all den genannten Gründen ergab z. B. ein im September 1890 ausgeführtes Abteilungsschiessen mit dem dänischen Gewehr, bei welchem zwei Kompagnieen zu je 100 Mann während vier angenommenen Gefechtsmomenten ganz gleichartige Scheiben mit Schwarzpulver und mit rauchschwachem Pulver beschossen, die in folgender Tabelle genannten Trefferprocente:

Moment	Schussweite	Schwarz-	Rauchschwaches
	Meter	Pulver	
I.	1850	3	
II.	1350	0 %	1 %
III.	850—500	10 %	26 %
IV.	400—300	20 %	37 %

Welche Vorteile sich für mit rauchschwachem Pulver feuernde Truppen aus ihrer relativen Unsichtbarkeit ergeben, würde natürlich selbst auf Grund umfangreicher Kriegserfahrung ziffernmässig schwer zu bezeichnen sein; doch ist es klar, dass unter Umständen eine mit rauchschwacher Munition schiessende Truppe in einer Gefechtslage unbemerkt und unbeschossen bleiben kann, in welcher sie sonst vernichtet werden würde. —

Die ersten nach dem Vieille-Pulver auftauchenden rauchschwachen Pulver waren genaue Nachahmungen; bald ging man aber natürlich auch daran, unter Beibehaltung der charakteristischen Merkmale: Gelatinierung und mechanische Verdichtung auch andere Verfahren anzuwenden und andere Produkte zu erzielen.

Die in der Fabrikation und Beschaffenheit der heutigen rauchschwachen Pulver zu beobachtenden Verschiedenheiten liegen vornehmlich in der Erzeugung der verwendeten Nitrocellulose, in den Mitteln und Werkzeugen der Gelatinierung und Verdichtung und in der Gestaltung, welche die Produkte für die Aufbewahrung und den Verbrauch erhalten.

Als Grundstoff der Nitrocellulose steht noch immer die von Hause aus fast reine Cellulose in fein zerteiltem Zustande enthaltende Baumwolle in erster Linie; neben ihr spielt eine praktisch wahrnehmbare Rolle im wesentlichen nur die Holzcellulose, die, seitdem sie für die

Papierfabrikation eine ausserordentliche Bedeutung angenommen hat, immer reiner hergestellt worden ist. Von Explosivstoff-Technikern sehr gelobt wird die von der Zellstoff-Fabrik Waldhof bei Mannheim speziell für die Nitration vorbereitete Cellulose, über deren Fabrikation es im Deutschen Reichs-Patent No. 64878 vom 18. Dezember 1890 heisst:

„In dem Zustande, in welchem die nach dem sogenannten Sulfit- bezw. nach einem anderen Verfahren aus Holz hergestellte Cellulose in den Handel geliefert wird, ist dieselbe zur Herstellung eines homogenen, aus bestimmten Nitrierungsstufen bestehenden Cellulosenitrats, insbesondere zur Darstellung von Schiessbaumwolle (Cellulosehexanitrat) nicht geeignet.

„Zum teil bestehen derartige Handelsprodukte aus einem Gemenge von mehr oder minder reiner, von inkrustierender Substanz befreiter Cellulose, zum teil aus mehr oder minder dichten, zusammenhängenden und ungleichartigen Konglomeraten.

„Während für die Herstellung eines reinen Cellulosenitrats die chemische Reinheit des zu nitrierenden Materials von wesentlicher Bedeutung ist, hängt andererseits der gleichmässige Angriff der Nitrierungssäure, Salpeterschwefelsäure, und des vollständigen Auswaschens dieser Säuren aus dem nitrierten Produkt vornehmlich von dem mechanischen Zerteilungszustand der Cellulose ab.

„Die bisher von uns und von Anderen angestellten Versuche zur Überführung der Handelscellulose in einen Zustand, welcher frei von den bezeichneten Mängeln ist, sind aus dem Grunde erfolglos gewesen, weil man einerseits nicht ein von inkrustierender Substanz völlig befreites Material verwendete und andererseits nicht den Einfluss der gleichmässigen mechanischen Verteilung der Cellulosefaser auf den Nitrierungsprozess gebührend würdigte.

„Unsere Erfindung besteht nun darin, dass wir zunächst die chemische Behandlung der rohen Holzfaser so weit führen, bis sich darin nach den bekannten Methoden die Gegenwart von inkrustierender Substanz nicht mehr nachweisen lässt.

„Wir reinigen die Holzfaser, indem wir das zerkleinerte Holz mit saurer schwefligsaurer Kalklösung behandeln, dann mit Chlorkalk bleichen, nach dem Auswaschen mit verdünnter Ätznatronlauge waschen und dann die Masse nochmals mit Alkohol reinigen.

„Die schliesslich auf das Vollständigste gewaschene und dann getrocknete, fast völlig farblose Cellulose wird sodann in eine gleichmässige, pulverartige Fasermasse verwandelt, die bei gelindem Druck sich zu Flocken ballt, mit Wasser aber sofort zu einem gleichmässigen, losen Brei zerfällt und nach dem Nitrieren, Auswaschen und Trocknen ein Produkt liefert, welches bei längerem Erwärmen auf 70° C. keine das Jodkaliumstärkepapier bläuenden, nitrosen Zersetzungsprodukte mehr abgiebt.

„Diesen hohen Grad von mechanischer Zerteilung, verbunden mit grosser Leistungsfähigkeit, haben wir nur durch Anwendung von Desintegratoren[1]) erreicht.

---

[1]) Abb. 40 (S. 284).

„Die Konstruktion eines für den vorliegenden Zweck am besten geeigneten Desintegrators ist folgende:

„Der Desintegrator besteht aus zwei von einander unabhängigen Maschinenelementen *a* und *b*, von welchen jedes für sich auf einer Welle festgekeilt ist. Jedes Maschinenelement besteht aus einem System von vier (mindestens drei) konzentrisch auf einem gemeinschaftlichen Grundring *dd* befestigten, ca. 13 mm starken Eisenstäbchen, welche an den freistehenden Enden durch schmiedeeiserne Ringe verbunden sind.

„Die Konstruktion der beiden Maschinenelemente ist so ausgeführt, dass die konzentrisch gelagerten Eisenstäbchen des einen Elementes in die entsprechenden Zwischenräume des anderen Elementes genau passen, also beide kammartig in einander eingreifen. Die Wellen mit den Elementen rotieren in entgegengesetzter Richtung mit einer Geschwindigkeit von mindestens 1500 Touren

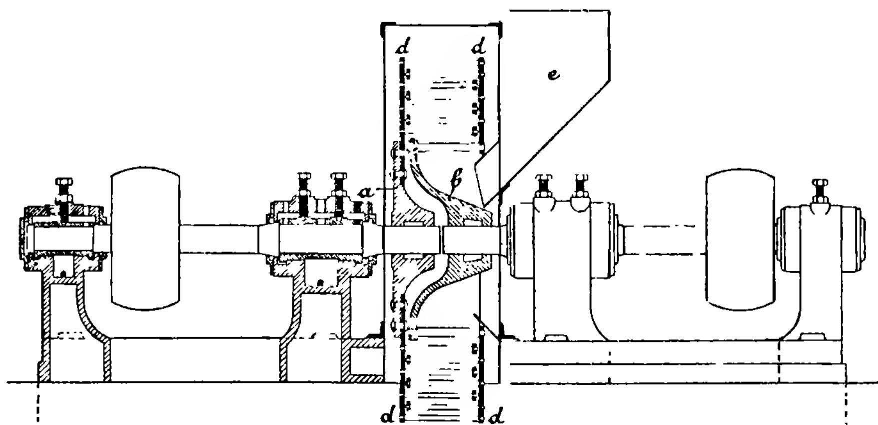


Abb. 40. Maschine der Zellstofffabrik Waldhof zur Vorbereitung von Cellulose für die Nitration.

in der Minute, so dass die bei *e* in den Trichter gebrachte Cellulose, infolge der Centrifugalkraft durch die Eisenstäbchen geschleudert, wie oben beschrieben, zerteilt wird.

„Zur Herstellung der zerkleinerten Cellulose lässt man die wie oben auf chemischem Wege gereinigte und getrocknete Masse mehrere Male, z. B. vier- bis fünfmal durch den Desintegrator (oder durch eine hinter einander aufgestellte entsprechende Anzahl von Desintegratoren) passieren, bis eine herausgenommene Probe nach dem Nitrieren, Auswaschen und Trocknen der vorstehend angegebenen Nitrierungsprobe entspricht.“

Vereinzelt wird auch die öfter (zuletzt von O. Mühlhäuser, Dingler's Polyt. Journ., 1892, Bd. CCLXXXIII, S. 88 und 137) vorgeschlagene Jutefaser nach vorhergehender Reinigung zu Nitrocellulose verarbeitet.

Keinen nennenswerten Umfang hat wohl bisher die mehrfach vorgeschlagene Nitration der verhältnismässig seltenen Cellulosearten erreicht, die uns die Natur in noch feinerer, als in Faserform, d. h. in der Form

feiner Körnchen bietet (z. B. Cellulose aus der Frucht der Phytelephas macrocarpa, D. Reichs-Pat. No. 36061), erreicht.

Für die Stärke und das Mischungsverhältnis der Nitriersäuren im Beginn der Nitrieroperation sind im allgemeinen die von Lenk aufgestellten Normen noch immer massgebend, und auch die möglichste Erhaltung des fortgesetzt mit neuen Cellulosemengen in Berührung kommenden Säurengemisches im ursprünglichen Zustande wird vielfach noch durchaus nach der von Lenk vorgeschriebenen Art, also einfach durch den Ersatz aus dem Nitriergefäss fortgenommener Flüssigkeitsmengen durch frisches Gemisch von gleichbleibender Zusammensetzung erstrebt. Vielfach trägt man aber auch schon bei der Auffrischung der Nitriersäuren beim Nitrieren dem Umstande Rechnung, dass die aus dem Nitriergefäss genommene Baumwolle keineswegs immer Salpetersäure und Schwefelsäure im Verhältnis des ursprünglichen Gemisches mit sich fortnimmt, und frischt je nach Bedarf mit mehr oder weniger der einen oder der anderen Säure aus getrennten Gefässen auf; ein Verfahren, durch welches die Qualität der Produkte sehr gehoben werden kann, welches jedoch zu seiner vorteilhaften Durchführung grosser Sorgfalt bedarf.

Das mechanische Verfahren bei der Nitration ist wohl noch in reichlich der Hälfte aller bestehenden Nitrocellulosefabriken das alte v. Lenk'sche; doch tritt in neuerer Zeit immer mehr das Bestreben hervor, die Manipulationen mit den erstickende und gesundheitsgefährliche Dämpfe entwickelnden Säuren und der mit ihnen durchtränkten Baumwolle möglichst in geschlossenen Apparaten und ohne offenen Transport von einer Maschine zur anderen zu bewerkstelligen. So trägt man auch schon die zum Nitrieren zu verwendenden Säuren nicht in Töpfen o. ä. zum Nitriergefäss, sondern entnimmt sie durch Röhren aus höher gelegenen Behältern oder aus sog. „Montejus“, d. h. starkwandigen, luftdicht verschliessbaren Gefässen, in welche man, sobald man von ihrem Inhalt etwas braucht, Druckluft einströmen lässt, so dass die Flüssigkeit in ein im Inneren des Montejus bis nahe an den Boden und aussen bis an die Bedarfsstelle reichendes Rohr befördert wird (Saugpumpen könnten zur Beförderung der Nitriersäuren nicht dienen, ohne bald durch die angesogenen ätzenden Dämpfe zerstört zu werden). Auch die Nitration führt man in immer grösserem Umfange in Gefässen aus, die entweder dicht verschlossen sind, oder wenigstens einen Abzug für das Entweichen der sauren Dämpfe unmittelbar in die freie Atmosphäre besitzen, und man sucht meistens gleichzeitig auch zu bewirken, dass die nach Beendigung der Nitration dem Apparat zu entnehmende Baumwolle oder sonstige Cellulose möglichst wenig freie Säure mitnimmt.

Zu diesem Zwecke dient häufig ein cylindrisches Nitriergefäss mit

dicht schliessendem Deckel, durch welchen eine eiserne Schraubenspindel hindurchgeht. Der Deckel hat eine dicht verschliessbare Öffnung für das Einbringen der Baumwolle in den Apparat, die Schraubenspindel trägt unten eine runde, siebartig durchlöcherte eiserne Scheibe. Vor Beginn der Nitrieroperation schraubt man die Schraubenspindel ganz herunter, so dass die durchlöcherte Scheibe auf den Boden des Nitriergefässes zu liegen kommt, beschickt das Gefäss durch die Öffnung im Deckel mit Baumwolle, schliesst ab und lässt aus einem Montejus o. ä. Säure hineinlaufen. Ist die Nitratien vollendet, so zieht man, bevor man den Apparat öffnet, vermittelst der Schraubenspindel die siebartige Scheibe, auf welcher die mit Säure durchtränkte Baumwolle liegt, stark an dem Deckel, wodurch die Nitrocellulose von vieler überschüssigen Säure befreit wird.

Eine noch vollkommnere Abscheidung der überschüssigen Säure unmittelbar nach und am Orte der Nitration hat man in den letzten Jahren dadurch erstrebt, dass man die Nitration in einer dazu geeigneten Centrifuge vornahm. Mehrfach praktisch eingeführt ist die Nitrier-Centrifuge von Selwig und Lange in Braunschweig.

Nach dem Reichspatent No. 64447 vom 18. Juni 1891 ist die genannte Centrifuge ein Apparat, in welchem zunächst das Nitrieren von nitrierfähigen Stoffen von fester Form, wie Baumwolle u. dergl. vorgenommen wird, nach Beendigung des Nitrierprozesses aber sofort das Ausschleudern der vom Nitrierprodukt aufgesogenen Säure aus letzterem stattfindet, so dass der bei der bisher üblichen Arbeitsweise erforderliche Transport desselben in eine besondere Centrifuge vollständig fortfällt. Der Apparat unterscheidet sich dadurch von ähnlichen, zu gleichem Zwecke dienenden Apparaten, dass bei demselben der Säurebehälter wie bei einem gewöhnlichen Nitrierapparat feststeht, und eine gelochte Schleudertrommel der gebräuchlichen Konstruktion in demselben drehbar angeordnet ist. In diese Trommel, deren Inneres sich durch die Löcher im Mantel ebenfalls mit Säure anfüllt, wird die zu nitrierende Substanz eingetragen, darauf der Nitrierprozess in bekannter Weise geleitet und nach Beendigung desselben die Säure aus dem Behälter abgelassen. Sodann wird die Trommel in schnelle Umdrehung versetzt, und so die von dem Nitrierprodukt aufgesogene Säure durch Abschleudern entfernt.

Der Umstand, dass bei diesem Apparat der Säurebehälter nicht mit der Trommel rotiert, sondern feststeht, ermöglicht es, ihn mit einer Einrichtung zur Regulierung der Temperatur der darin enthaltenen Säure vor und während des Nitrierens, welche unbedingt erforderlich zur Erzielung eines guten, gleichmässigen und bestimmten Nitrierungsproduktes ist, zu versehen. Zu diesem Zwecke ist der Behälter entweder mit einem zum Hindurchleiten von Wasser eingerichteten Mantel versehen, oder in den

die Schleudertrommel umgebenden Raum ist eine Kühl- bezw. Wärmschlange oder ein Heizkörper beliebiger passender Form gelegt. Indem man nun vor und während des Nitrierens je nach Bedarf kaltes oder warmes Wasser durch den Mantel (Schlange, Heizkörper) zirkulieren lässt, hat man es in der Hand, die Temperatur der Säure während des Nitrierens auf jeder gewünschten Höhe zu halten, was bekanntlich für den regelmässigen Verlauf des Prozesses, von welchem die Qualität des erzielten Produktes abhängt, von allergrösster Wichtigkeit ist.

Ein weiterer Vorteil des feststehenden Säurebehälters und der gelochten Schleudertrommel ist der, dass beide sich nach beendigtem Nitrieren einfach durch Öffnen des am Boden des Säurebehälters angebrachten Säureablasshahnes von der nicht vom Nitrierprodukte aufgesogenen Säure entleeren lassen. Es ist demnach nicht erforderlich, eine bis oben hin mit Säure angefüllte, also sehr schwere Trommel in Umdrehung zu versetzen, wodurch ja Zeitverlust entsteht, ferner fällt das Abschleudern der Säure über den oberen Trommelrand hinweg, welches mit starker Entwickelung von Säuredämpfen verbunden ist, fort.

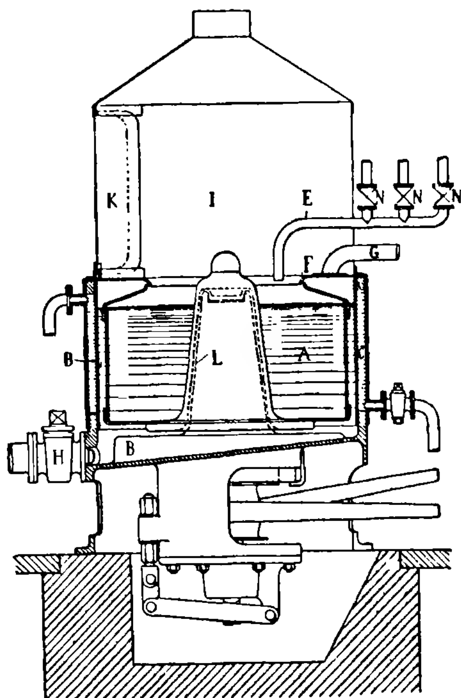


Abb. 41. Nitriercentrifuge von Selwig und Lange.

Im übrigen ist der Apparat mit allem Zubehör versehen, welches die gewöhnlichen, bisher angewendeten Nitrierapparate besitzen, also einen Ablasshahn am Säurebehälter, Säureeinlassrohr mit drei Abzweigungen und Hähnen für die verschiedenen zur Anwendung kommenden Säuren, Dunstfang (Giftherd) mit Arbeitsthür, aus dessen oberem Teil die sich bei der Arbeit entwickelnden Säuredämpfe durch einen Exhaustor abgesaugt werden. Zum Absaugen der Säuredämpfe aus dem Säurebehälter während des Abschleuderns der Säure ist noch ein besonderes, in den Deckel desselben einmündendes Rohr angebracht, welches ebenfalls mit einem Exhaustor verbunden ist.

Andererseits besitzt der Apparat sämmtliche für den Antrieb der Trommel erforderlichen Teile, welche an gewöhnlichen Centrifugen vorhanden sind.

Der Antrieb kann sowohl von unten wie von oben erfolgen oder es kann die Trommel bei oberem Antrieb aufgehängt sein, wie bei Weston's Centrifuge. Stets ist jedoch dafür Sorge zu tragen, dass, wenn der Apparat mit Säure angefüllt ist, dieselbe mit keinem Lager der Trommelspindel in Berührung kommen kann. Da es nun aus verschiedenen Gründen unthunlich ist, die Trommelspindel durch eine im Boden des Säurebehälters angeordnete Stopfbüchse gehen zu lassen, so wird bei unterem Trommelantrieb das Halslager, bei oberem das Spurlager stets in einer die Mitte des Säurebehälters einnehmenden konischen Erhöhung angeordnet, deren oberer Rand über den Spiegel der Säure hervorragt.

Abb. 41 (S. 287) stellt einen solchen Nitrier- und Centrifugaltrockenapparat im Querschnitt dar. *B* ist der cylindrische, mit schmiedeeisernem Kühl- oder Wärmemantel *C* versehene, im übrigen gusseiserne Säurebehälter, welcher gleichzeitig das Gestell des ganzen Apparates bildet. Sein Boden ist geneigt, und an der Entleerungsöffnung *D*, welche sich an seiner tiefsten Stelle befindet, ist der Säureablasshahn *H* angebracht. *A* ist die teils aus Schmiedeeisen, teils aus Gusseisen angefertigte Schleudertrommel, welche den Säurebehälter möglichst ausfüllt. Die Spindel, auf welcher die Trommel befestigt ist, geht durch den auf dem Boden des Säurebehälters aufstehenden centralen konischen Aufsatz *L* hindurch nach unten, wo sie die Antriebsriemscheibe trägt und durch ein Spurlager unterstützt wird. Ihr Halslager ist der Einwirkung der Säure dadurch entzogen, dass der obere Rand des Aufsatzes *L*, in welchem es angeordnet ist, über dem Säurespiegel liegt. Ein ringförmiger, bis über den Innenrand der Trommel *C* hinüberreichender Deckel *F* über dem Säurebehälter verhindert, dass beim Eintragen des zu nitrierenden Materials in die mit Säure angefüllte Trommel etwas davon in den Zwischenraum zwischen letzterer und den Mantel *C* fällt. *I* ist der über dem Behälter angeordnete Dunstfang (Giftherd), welcher mit der seitlichen Arbeitsthür *K* versehen ist und welcher behufs Absaugens der Säuredämpfe oben mit dem Exhaustor verbunden ist. *G* ist ein gleichfalls zu letzterem führendes Rohr, welches in den Deckel *F* einmündet und die während des Schleuderns auftretenden Säuredämpfe abführt. *E* ist das Säurezuflussrohr, welches durch die Hähne *NNN* mit den drei verschiedenen Säurebehältern verbunden ist.

Das Nitrieren findet in dem Apparat in genau derselben Weise wie in gewöhnlichen Nitrierapparaten statt. Nach Beendigung des Nitrierprozesses wird der Hahn *H* behufs Ablassens der überflüssigen Säure geöffnet, die Trommel in Umdrehung versetzt und so die letzte Säure aus dem Nitriergut ausgeschleudert, welches darauf aus der Trommel herausgenommen und wie üblich gewaschen wird.

Die Nitriercentrifugen leiden an dem Übelstande aller Nitrierapparate mit beweglichen Metallteilen — so z. B. auch der oben erwähnten Nitriergefässe mit Schraubenpresse, — dass man die beweglichen Teile nicht gut aus einem anderen Material, als Schmiedeeisen herstellen kann, welches namentlich an den Stellen, wo es mit anderem Metall (Gusseisen oder Blei) in Berührung kommt, den Einwirkungen der Säuren und Säuredämpfe sehr schlecht widersteht. Dies ist der Grund, aus welchem es vorteilhaft wäre, selbst die gewöhnliche, nur zum Ausschleudern dienende Säurecentrifuge aus der Nitrocellulose-Fabrikation zu beseitigen, und einer der Gründe, aus welchen ein im Jahre 1893 der Wiener „Aktiengesellschaft Dynamit Nobel" patentiertes Verfahren zu Nitrierung von Cellulose von bedeutendem Wert sein dürfte.

Im Deutschen Reichs-Patent No. 74736 vom 5. Mai 1893 heisst es über dieses Verfahren:

„Die bis jetzt bekannte und allgemein geübte Fabrikationsmethode zur Erzeugung von Nitrocellulose aus Baumwolle, Holzcellulose etc. ergiebt, gleichgültig ob das Resultat schwach nitrierte ‚Kollodiumwolle' oder hoch nitrierte ‚Schiessbaumwolle' sein soll, aus weiter unten zu erörternden Gründen ein Produkt von nie gleichen chemischen oder physikalischen Eigenschaften, erlaubt nur die Produktion einer relativ geringen Quantität bei Aufwendung eines grossen Arbeitspersonals und ist überdies für das letztere infolge der bei den einzelnen Manipulationen auftretenden Säuredämpfe nicht nur von arger Belästigung, sondern sogar höchst gesundheitsschädlich.

„Die Nitrierung erfolgt nach dem alten Verfahren in offenen Gefässen aus Gusseisen, Blei oder Thon. Das Eintragen der Baumwolle (500 g bis zu 5 kg pro Charge) in die 22 bis 25fache Gewichtsmenge einer Mischung von Salpetersäure und Schwefelsäure geschieht in kleinen Partieen mit der Hand, und werden diese kleineren Partieen mittelst einer Eisenkrücke unter das Säuregemisch hineingearbeitet.

„Die Zeitdauer des Eintragens richtet sich natürlich nach der Menge der auf einmal zur Nitrierung gelangenden Baumwollpartie, und ist das Eintragen so langsam vorzunehmen, dass eine Überhitzung nicht stattfindet.

„Solche lokale Überhitzungen sind aber selbst bei der sorgfältigsten Durchführung nicht zu umgehen, da erstens die Säure in die unter derselben gepressten Baumwollklumpen nicht rasch genug einzudringen vermag und auch ganz besonders, weil die im Inneren der zentralen Bohrung der Baumwollfaser (dem Lumen) befindliche Luft nur ausserordentlich schwer von der Säure verdrängt wird.

„Dadurch bleibt der gerade eindringende Teil der Säure zu lange und ungekühlt mit der Cellulose in Berührung; es tritt örtlich eine Überhitzung ein, und es wird statt der Nitrierung eine Zersetzung herbeigeführt. Trotzdem durch ein kräftiges Tauchen diese Zersetzungen in der Regel in ihrer Fortpflanzung unterdrückt werden können, sind solch zersetzte Partieen doch als käsige,

wasserunlösliche Masse in jeder auf diese Weise nitrierten Cellulose nach dem Auswaschen zu finden, ein anderer Teil dieser Zersetzungsprodukte ist aber wasserlöslich und involviert daher einen Verlust an Salpetersäure und an zu gewinnender Substanz.

„Die kolloidalen Zersetzungsprodukte verhindern auch ein weiteres Vordringen der Säure in das Lumen der Baumwollfaser und beeinträchtigen auch noch dadurch die Gleichmässigkeit der Nitrierung.

„Da zum Schluss der Prozedur des Tauchens einer Charge zufolge der immer dichter werdenden Masse die grösste Kraftanstrengung des betreffenden Arbeiters nötig ist, mit diesem Zeitpunkt aber auch schon seine Erschöpfung infolge Einatmens von Säuredämpfen zusammenfällt, so ist einzusehen, dass die meisten Zersetzungen in diesem Stadium ihren Ursprung haben. Man erzielt daher in ein und derselben Charge Nitrocellulosen von verschiedener Beschaffenheit, welche ausserdem mehr oder weniger durch die erwähnten Zersetzungsprodukte verunreinigt sind.

„Nachdem nun höchstens 5 kg Baumwolle in einer Operation getaucht werden und, um eine grössere Produktion zu erzielen, das Tauchen mehrerer Chargen neben einander von mehreren Arbeitern vorgenommen wird, so kann eine solche Tagesproduktion, weil von den verschiedensten Einflüssen abhängig, nichts weniger als einen einheitlichen Körper ergeben, und stellt überdies eine solche Arbeit an die Konstitution des Arbeiters eine grosse Zumutung.

„Um alle diese Übelstände nach Möglichkeit zu vermeiden und bei reinerer und weniger lästiger Arbeit ein Produkt von grösserer Gleichmässigkeit und ausserdem eine grössere Arbeitsleistung zu erzielen, ist es nötig, die Gesammtoberfläche der auf einmal zur Nitrierung gelangenden Substanz möglichst gleichzeitig dem Einfluss der Nitriersäure auszusetzen. Dies wird am besten dadurch erreicht, dass aus der ganzen Baumwollpartie, die auf einmal zur Nitrierung gelangen soll, die Luft evakuiert wird, dass man hierauf die Imprägnierung mit dem Säuregemisch vornimmt, dann aber durch einen Durchzug frischer und kalter Säure durch die ganze Baumwollpartie einer Uberhitzung vorbeugt und durch Aufrechterhaltung der Konzentration des Säuregemisches die Nitrierung nach Wunsch gestaltet.

„Auf Grund dieser Prinzipien wurde nun der durch die Zeichnung dargestellte Apparat konstruiert, der für eine Charge von ca. 50 kg Baumwolle berechnet ist. Es ist klar, dass durch Veränderung der Dimensionen ein Apparat auch für grössere oder kleinere Chargen eingerichtet werden kann.

„Das Gefäss *A*[1]) ist entweder ein mit Blei ausgeschlagener Holzbottich oder ein Reservoir aus Eisen oder Thon und auf einem Gestell anzuordnen.

„Das Nitriergefäss *B*[2]) ist am besten ca. 15 mm stark aus Gusseisen herzustellen und sind auch die in dasselbe eingesetzten perforierten Cylinder *R* und *R*' von ähnlicher Stärke zu nehmen. Das Gefäss *B* ist auch auf einer Unterlage derart aufzustellen, dass der Hahn *b* leicht zugänglich ist.

---

[1]) Abb. 42.
[2]) Abb. 43.

„Der grosse Deckel hat, wie bei einem Montejus, korrespondierende Ausnehmungen mit dem umgebogenen Oberrand des Gefässes und ist an dasselbe mittelst einer Bleidichtung durch Kopf- und Mutterschrauben zu befestigen. Der Deckel der Arbeitsöffnung *o* kann mittelst Kautschuk oder einer anderen Dichtung durch einen starken Bügel luftdicht aufgesetzt werden. *C*[1]) ist ein gewöhnliches gusseisernes Montejus und in die Erde einzugraben. Die grossen Hähne *a b c* und *d*[2]) sind aus Thon und in Bleidüsen einzementiert. So beschlagen werden sie an die Rohrstutzen der Apparate angeflantscht und ausserdem der Wirbel durch Bügelschrauben fixiert. Die kleinen Hähne der Luftleitungen können aus Gussmetall hergestellt sein.

Abb. 42.

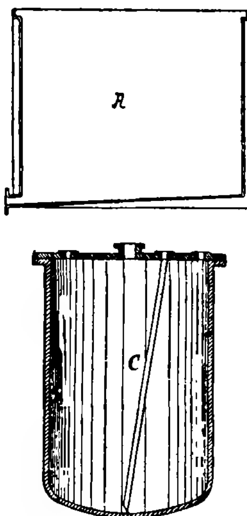


Abb. 44.

Abb. 45.

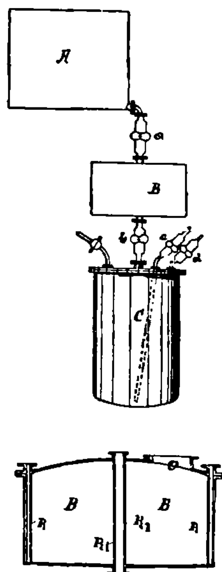


Abb. 43.

Apparate zur Nitrierung von Cellulose der „Aktiengesellschaft Dynamit Nobel“ in Wien.

„Die zur Nitrierung nötige Menge Salpeter- und Schwefelsäure wird entweder in dem Gefäss *A* direkt zusammengegossen oder aus dem einen Montejus (bei geschlossenem Hahn *a*) mittelst komprimierter Luft nach *A* gedrückt, wo das Säuregemisch durch Luft innig durchgerührt werden kann. Durch die Arbeitsöffnung wird der Nitrierapparat mit gereinigter, trockener, eventuell gekrempelter Baumwolle, die möglichst fest gepresst wird, gleichmässig beschickt und dann die Arbeitsöffnung vollständig abgedichtet verschlossen. Nun wird der Hahn *b* geöffnet und mittelst eines Dampfstrahlgebläses, einer Wasserstrahlluftpumpe, einer gewöhnlichen Luftpumpe oder auch eines mit komprimierter Luft zu betreibenden thönernen ‚Körting's‘ nicht nur in *C*, sondern auch in *B* ein Vakuum erzeugt, wodurch natürlich auch selbst aus dem Lumen der Baumwollfaser die Luft entfernt wird. Zeigt nun ein an geeigneter Stelle angebrachtes Vakuummeter nahe die Luftleere an, so wird *b* geschlossen und *a* geöffnet. Dadurch dringt die Säure durch ihr Eigengewicht, unterstützt durch das erzeugte Vakuum, in den mit Baumwolle gefüllten, aber luftleeren Raum von *B*, und es füllt sich *B* in sehr kurzer Zeit bis oben. Je nach der Grösse des Apparates teilt sich vom Hahn *a* ab das Säurezuströmrohr in zwei oder vier Rohre, welche an die entsprechenden, diagonal an dem Apparatdeckel angebrachten Flantschenstutzen befestigt werden, so dass die Säure von zwei oder vier Seiten gleichzeitig eindringt.

[1]) Abb. 44. [2]) Abb. 45.

„Es wurde durch Versuche ermittelt, dass hierauf ein geringes oder auch nur zeitweises Öffnen von *b* genügt, um durch die damit hervorgerufene Verdrängung erschöpfter Säure durch frische und kalte nicht nur jede Überhitzung hintanzuhalten, sondern dass man es dadurch auch ganz in der Hand hat, die Nitrierung durch Zuzug frischer Säure nach Wunsch zu gestalten. Die Temperatursteigerung ist hierbei so gering, dass von einer Kühlung ganz abgesehen werden kann. Übrigens kann man durch an verschiedenen Orten des Deckels eingesetzte Thermometer die im Nitriergefäss herrschende Temperatur ermitteln. Mit der letzten, also ganz frischen Säure bleibt die Baumwolle nach Schliessung von *b* so lange stehen, bis der gewünschte Stickstoffgehalt der Nitrocellulose erreicht ist, was aber viel eher eintritt, als wenn nach der alten Methode gearbeitet wird. Hierauf wird bei geöffneten Hähnen *a* und *b* ebenfalls mittelst des erzeugten Vakuums die überschüssige Säure abgesaugt. Die Säure in *C* wird mit der nötigen Menge Zusatzsäure gemischt, je nach der Einrichtung entweder nach *A* oder nach A_1 einer zweiten Apparatanordnung für eine nächste Operation gedrückt.

„Nun kann entweder nach Öffnen der Arbeitsöffnung von *B* unter Absaugung der Säuredämpfe durch die Pumpe die noch saure Nitrocellulose herausgenommen und in Waschholländer oder Rührbottich gebracht werden, oder es kann die Fabrikation so eingerichtet werden, dass nach Entleerung von *C* in ein anderes Gefäss man *A* bei geschlossenem Hahn *a* mit Wasser füllt, in *C* und *B* wieder ein Vakuum erzeugt, und durch denselben Vorgang, wie früher die Säure, nun das Waschwasser durchsaugt, nur dass hierbei *b* stets geöffnet bleibt.

„Falls die Entsäuerung in demselben Apparat vorgenommen wird, empfiehlt es sich, alle Gefässe aus säurebeständigem Emailgusseisen oder Thon zu erzeugen und an *C* am tiefsten Punkt ein Rohr mit Hahn anzuflantschen, um die Säure, sowie auch das Wasser jeweilig vollständig abzapfen zu können. Es ist dann aber der Zugang zu diesem Hahn durch eine in die Erde eingehauene Treppe zu ermöglichen.

„Es kann auf dieselbe Weise auch die Entfernung der letzten Spuren Säure leicht und sicher durch Durchsaugen einer verdünnten Sodalösung bewerkstelligt werden. Die nun durch die Arbeitsöffnung dem Apparat zu entnehmende Nitrocellulose kann dann sofort in die Schneidholländer gelangen.

„Auf diesem Wege erhaltene Nitrocellulosen zeichnen sich durch besondere Reinheit aus, können stets gleichwertig erzeugt werden, das Verfahren ist äusserst billig, weil geringe Handarbeit zu besorgen ist und die sehr rein bleibenden Abfallsäuren durch Auffrischung mit konzentrierten Säuren in geeignetem Verhältnis wieder verwendet werden können.

„Ausserdem ist hierbei die Belästigung der Arbeiter durch Säuredämpfe gleich Null.

„Infolge ihrer Reinheit und Gleichmässigkeit können so erhaltene Nitrocellulosen nicht allein zur Verwendung von photographischen und medicinischen Zwecken, sondern auch zur Herstellung von Celluloid, sowie besonders von Gelatinedynamiten und rauchschwacher Schiesspräparate ganz ausserordentliche Dienste leisten.“

Zweifellos begünstigt die Entfernung der Luft aus der zu nitrierenden Cellulose ein leichtes und vollständiges Eindringen der Säure und hindert neben der im eben Zitierten als Fehler anderer Methoden hervorgehobenen stellenweisen Zersetzung des Produktes auch die aus Früherem (S. 184) bekannte, an der Oberfläche der einzelnen Zellstofffasern weiter, als im Inneren fortgeschrittene Nitration. Die im Vakuum hergestellte Nitrocellulose dürfte also sehr gleichmässig sein, und insbesondere dürfte man mit dem Verfahren der Wiener Sprengstofffabrik dem Ideal einer maximalen Nitrierung (bis auf 14,14 $^0/_0$ Stickstoff) näher kommen können, als mit den älteren Verfahren. Wie bereits früher hervorgehoben wurde, hat es, nachdem wir gelernt haben, auch der stärksten Nitrocellulose die für Schiesszwecke übermässige Brisanz zu benehmen, keinen rechten Sinn mehr, auf das Maximum der durch Nitration von Cellulose aufzuspeichernden Energie für das Forttreiben von Geschossen zu verzichten, und möglichste Ausschliessung der niedriger nitrierten, in Ätheralkohol löslichen Produkte aus der durch Gelatinierung und Pressung zu rauchschwachem Pulver zu verarbeitenden Nitrocellulose wird heute auch von bei weitem den meisten Pulvertechnikern erstrebt.

Dieser Ausschliessung muss natürlich in erster Linie eine möglichst sorgfältige Nitration dienen; da es jedoch unmöglich zu sein scheint, die Bildung von Kollodiumwollen bei der Nitration ganz auszuschliessen, so verdient wohl auch der andere zum gleichen Ziele führende Weg eine umfassendere Beachtung, als ihm bisher in der Pulverfabrikation geschenkt worden ist. Will man bei Laboratoriumsversuchen möglichst hochnitrierte Cellulose erhalten, so behandelt man das Nitrationsprodukt nach dem Auswaschen und Trocknen noch mit Ätheralkohol oder einem anderen Lösungsmittel, welches die niedriger nitrierten Teile auflöst und die „Hexanitrocellulose“ zurücklässt (vgl. S. 181—182). Diesen Weg hat der bekannte amerikanische Explosivstoff-Techniker Prof. Munroe als auch für die Industrie gangbar und lohnend nachgewiesen: er digeriert die Schiessbaumwolle, welche nachher (nach einem noch zu besprechenden Verfahren) zu dem rauchschwachen Pulver „Indurit“ verarbeitet wird, zuvor mit Methylalkohol, der sich als Lösungsmittel für Nitrocellulosen ebenso verhält, wie Ätheralkohol.

Die zuletzt genannten beiden Lösungsmittel benutzen auch diejenigen Fabriken, welche aus Kollodium-Cellulose ohne einen stärker explosiven Zusatz Gelatinepulver herstellen; bei weitem die meiste Kollodium-Cellulose aber, welche zu rauchschwachen Pulvern verarbeitet wird, wird mit Hülfe von Nitroglycerin gelatiniert, welches nach der Gelatinierung in dem Pulver verbleibt und seine Kraft bedeutend erhöht.

Bis zu seiner erst wenige Jahre alten Verwendung in der Pulver-

fabrikation hat das Nitroglycerin so ausschliesslich der Sprengtechnik gedient und unter den specifischen Sprengstoffen einen solchen Rang eingenommen, dass eine ausführliche Darstellung seiner Geschichte im nächsten Bande dieses Werkes gegeben werden muss. Hier sei nur bemerkt, dass das Nitroglycerin zwar kurz nach der Erfindung der Schiessbaumwolle von Ascanio Sobrero erfunden wurde, jedoch wenig Beachtung fand, bis Alfred Nobel durch mit grosser Kühnheit und Beharrlichkeit durchgeführte Versuche den Beweis führte, dass es sich zur praktischen Verwendung in der Sprengtechnik vorzüglich eignet, besonders, wenn man ihm seine für die Handhabung unbequeme flüssige Form durch Aufsaugenlassen durch einen geeigneten porösen Körper benimmt. Das so entstandene „Dynamit“ ist seit den sechziger Jahren bis heute der hervorragendste Repräsentant der brisanten Sprengstoffe geblieben. Andere Mittel, das Nitroglycerin zu Sprengzwecken in eine feste Form überzuführen, haben weniger Erfolg gehabt: so insbesondere auch seine Verwandlung in eine Art von Gelatine durch Vereinigung mit Kollodiumwolle, welche sich in ihm leicht auflöst; doch ist diese „Sprenggelatine“ für die Schiesstechnik als Ausgangspunkt eines vorzüglichen rauchschwachen Pulvers wichtig geworden.

Nach dem Aufkommen der gelatinierten Nitrocellulosepulver kam Nobel auf den Gedanken, die gelatinierende Wirksamkeit und zugleich die grosse Kraft des Nitroglycerins auch für die Schiesspulverfabrikation nutzbar zu machen. Zunächst setzte aber gerade die Leichtigkeit, mit welcher sich Kollodiumwolle und Nitroglycerin zu Gelatine vereinigen, der technischen Verwirklichung dieser Idee grosse Schwierigkeiten entgegen. Schon wenn man dem Nitroglycerin etwa den zehnten Teil seines Gewichtes an Kollodiumwolle zusetzt, ist es schwer, durch blosses Rühren eine gleichmässige Durchgelatinierung zu erzielen; denn schon die ersten Particen der verhältnismässig voluminösen Nitrocellulose, welche mit dem Nitroglycerin in Berührung kommen, gelatinieren sich so schnell und absorbieren dabei soviel von der Flüssigkeit, dass zur gleichmässigen Gelatinierung der übrigen zu wenig übrig bleibt. Bei der Herstellung von Sprenggelatine behalf man sich mit dem Zusatz eines flüchtigen Lösungsmittels, welches das Durchziehen der ganzen Nitrocellulosemasse mit Nitroglycerin förderte; das von Nobel beabsichtigte Pulver musste aber, um nicht zu brisant zu werden, viel mehr Nitrocellulose erhalten, und von einem Zusatz flüchtigen Stoffes befürchtete der Erfinder mit Recht eine Beeinträchtigung der Gleichmässigkeit in den Leistungen des neuen Schiesspräparates. Diese Schwierigkeiten wurden zunächst durch ein Verfahren beseitigt, welches im Deutschen Reichspatent No. 51471 vom 3. Juli 1889 folgendermassen beschrieben wird:

„Nitro- oder Sprenggelatine ist bekanntlich eine etwa 7- bis 8procentige Lösung von Nitrocellulose in Nitroglycerin und stellt eine geléeartige weiche Masse dar. Wenn es gelingt, mehr Nitrocellulose in dem Nitroglycerin zur Lösung zu bringen, so wird das Erzeugnis immer fester und nimmt immer mehr die Beschaffenheit eines kraftvollen, rauchlos verbrennenden Schiesspulvers an. Die bekannten Mittel, die Lösungsfähigkeit des Nitroglycerins für Nitrocellulose zu steigern, sind indessen so kostspielig und erfordern Zusätze von gewissen flüchtigen Stoffen, namentlich von Kampfer, welche in dem fertigen Erzeugnis zunächst verbleiben, daraus aber dann langsam verdunsten. Die Zusammensetzung des Explosivstoffes ändert sich deshalb mit der Zeit, und damit ändern sich auch seine Eigenschaften.

„Es ist jetzt gelungen, ein neues Verfahren zu finden, durch welches das physikalisch-chemische Zusammentreten von Nitroglycerin und Nitrocellulose zu einem festen, schiesspulverartigen Körper ohne Zuthat gedachter Stoffe herbeigeführt wird, also ein reines Nitrogelatine-Schiesspulver entsteht, das in seiner Zusammensetzung und in seinen Eigenschaften durchaus beständig ist.

„Dieses neue Pulver enthält seine beiden genannten Erzeugungsbestandteile etwa zu gleich grossen Gewichtsteilen.

„Das neue Verfahren besteht wesentlich darin, zuerst nur ein rein mechanisches, inniges Mischen der Moleküle des Nitroglycerins und der Nitrocellulose in dem Mengenverhältnis herbeizuführen, welches im Enderzeugnis als erforderlich erkannt ist, und danach den physikalisch-chemischen Vorgang zur Durchführung kommen zu lassen, den man schlechthin mit Lösung des festen in dem flüssigen Stoff oder hier im besonderen Falle mit Gelatinierung bezeichnet.

„Es löst sich bekanntlich die Nitrocellulose bei niedriger Temperatur nicht in dem Nitroglycerin. Es wird deshalb zur anfänglich nur mechanischen Mischung eine Temperatur der beiden genannten Körper eingehalten, welche unter der gewöhnlichen liegt. Man bringt bei $+6$ bis 8^0 C. Temperatur 1 Gewichtsteil löslicher Nitrocellulose in Nitroglycerin von sechs- bis achtfacher Gewichtsmenge. Man kann dabei die Nitrocellulose trocken oder feucht anwenden. Sie wird mit dem Nitroglycerin ganz durchtränkt werden, es wird aber nichts von ihr in Lösung übergehen. Sollte eine Nitrocellulose zur Anwendung kommen, die trotz der niedrigen Temperatur doch schon Neigung zum Lösen hat, so wird dieses durch Zusatz geeigneter flüchtiger Stoffe zum Nitroglycerin verhindert, Solcher der Lösung hinderlicher Stoff ist namentlich Benzol.

„Um die Durchtränkung der Nitrocellulose so innig wie nur möglich zu machen, bringt man sie aus dem Bade in einen Raum, dem mittelst einer Luftpumpe die Luft entzogen werden kann und nach dem Einbringen der nitroglycerinfeuchten Nitrocellulose entzogen wird. Jede Luft entweicht jetzt aus den Poren der Nitrocellulose und wird durch Nitroglycerin ersetzt, so dass eine denkbar innigste Berührung der Moleküle beider Stoffe mit einander entsteht.

„Hiernach wird das Gewicht der Menge festgestellt und diese unter einer Presse oder in eine Centrifuge gebracht, um den Nitroglyceringehalt so weit daraus zu entfernen, dass das dem Enderzeugnis zugedachte Mischungsverhältnis

übrig bleibt. Das abgepresste oder abgeschleuderte Nitroglycerin wird gewogen und damit das im Gemenge zurückgebliebene festgestellt.

„Hierbei wird fortwährend die gekennzeichnete niedrige Temperatur eingehalten und bewahrt; denn das abfliessende Nitroglycerin muss dünnflüssig sein, darf also nichts von der Nitrocellulose aufgelöst haben, damit es zur Ausübung des hier beschriebenen Verfahrens fernerhin wieder benutzt werden kann.

„Der aus der beendeten Pressung oder Ausschleuderung kommende Kuchen wird zerstückelt und nun auf hohe Temperatur, d. i. solche von 60 bis 90^0 C., bei der das Nitroglycerin die Nitrocellulose auflöst, gebracht. Je höher der Cellulosegehalt des Gemenges ist, je höher wird innerhalb genannter Grenzen die Temperatur zu wählen sein, um einen Gelatinierungsvorgang homogen durch die ganze Masse eintreten zu lassen.

„Je mehr Nitroglycerin in dem Gemenge belassen ist, desto leichter geschieht die Gelatinierung, doch ist das Endergebnis noch ziemlich weich, wenn 2 Gewichtsteile Nitroglycerin auf je 1 Gewichtsteil Nitrocellulose kommen. Je geringer der Nitroglyceringehalt ist, je fester wird das Erzeugnis, doch geht die Gelatinierung dann um so schwieriger vor sich. Man kann sie indessen, auch bei gleichen Gewichtsteilen von Nitroglycerin und Nitrocellulose, ganz gut namentlich dadurch erreichen, dass man das vom zu vielen Nitroglycerin befreite Gemenge unter entsprechend hoch erwärmtes Wasser bringt.

„Nach der Gelatinierung schafft man die Masse jetzt, immer unter Bewahrung der genannten hohen Temperatur, zur Komprimierung unter eine Presse. Die Masse wird zu Platten von 1 bis 2 mm Dicke zusammengequetscht. Es entweicht dabei ein Teil des in ihr vorhandenen Wassers direkt, während der andere Teil daraus verdampft.

„Letzteres wird womöglich durch einen die Presse durchziehenden warmen Luftstrom befördert und kann noch viel mehr dadurch beschleunigt werden, dass man die Platten zwischen erwärmten Walzen zu sehr dünnen Blättern von etwa $^1/_{10}$ mm Dicke auswalzt.

„Sind die gepressten Platten trocken und zeigen sie sich als celluloidartig gleichmässig durchscheinend, so werden mehrere Platten auf einander gelegt und zusammengerollt und noch einmal, immer in der Temperatur von etwa 80^0 C., zusammengepresst und in irgendwie gewünschte Abmessungen gebracht.

„Lassen die getrockneten Platten nicht homogene Stellen erkennen, so muss ihre Masse zwischen den geheizten Walzen eines Mischungswalzwerkes so lange geknetet werden, bis vollständige Homogenität eintritt.

„Das so endlich in Form von Platten erhaltene Erzeugnis wird in mehr oder weniger kleine Teile zerschnitten, um die für Schiesspulver übliche Körnung zu bekommen. Es verhält sich in Hinsicht auf Zündfähigkeit und sonst in seiner Verwendung wie andere rauchlos explodierende Schiesspulver, hat aber seiner chemischen Natur entsprechend eine bedeutendere Kraft.

„Man kann in dem fertigen Erzeugnis das Verhältnis der Nitrocellulosemenge zur Nitroglycerinmenge noch erhöhen. Man bringt dazu die Körner oder auch die dünnen Platten in eine Flüssigkeit, welche Nitroglycerin aufzulösen

vermag, nicht aber Nitrocellulose. Solche Flüssigkeiten sind Äther, Chloroform und vor allem Methylalkohol. Entsprechend mit Wasser verdünnt, löst letzterer bei einer Temperatur von etwa 40° C. sehr leicht Nitroglycerin, nicht aber Nitrocellulose auf und reichert so in dem nach Vorstehendem erzeugten Schiesspulver den Nitrocellulosegehalt an.[1])

„Man erniedrigt nachher die Temperatur des Methylalkohols auf + 10° C. und erreicht dadurch ein vollständiges Absetzen des Nitroglycerins, das dann abgezogen und wieder verwendet werden kann.

„Zur Sicherung der chemischen Stabilität des wie hier beschrieben erzeugten Schiesspulvers kann man dem Nitroglycerin gleich anfangs 1 bis 2 % Diphenylamin zusetzen."

Dass nach diesem Verfahren die Kollodiumwolle zuerst mit einem grossen Überschuss an Nitroglycerin, welcher nachher nicht leicht zu entfernen war, behandelt werden musste, war ein Fehler, welchen später die vormals Nobel'sche Dynamit-Aktiengesellschaft in Hamburg unter Benutzung von Beobachtungen Lundholm's und Sayers' beseitigte. Die genannten beiden Erfinder haben beobachtet, dass man eine sehr innige und gleichmässige Vereinigung sehr verschiedener Mengen Nitrocellulose mit allen in Betracht kommenden explosiven Lösungsmitteln erzielen kann, indem man Nitrocellulose und Lösungsmittel in fein zerteiltem Zustande in einer beide nicht lösenden Flüssigkeit suspendiert, und geben in der deutschen Patentschrift No. 53296 vom 12. September 1889 Folgendes an:

„Diese Erfindung hat den Zweck, die Vereinigung solcher Bestandteile von Explosivmischungen in gleichförmiger und gleichmässiger Weise zu bewirken, deren Verbindung nach den bekannten Methoden nur unvollkommen gelingen will.

„Es ist seit langem bekannt, dass Nitroglycerin und Nitrocellulose einen gelatineartigen Körper bilden, und es bereitet keine Schwierigkeit, diese Körper zu kombinieren, wenn der Procentsatz von Nitrocellulose gering ist, d. h. nicht mehr als 15 % beträgt. Mit einem grösseren Procentsatz wird es schwierig, eine vollkommene Gleichförmigkeit des fertigen Produktes zu erzielen, vielmehr bleiben Partikelchen von Nitrocellulose ungelöst. Um diesen Übelstand zu vermeiden, sind Verfahrungsweisen vorgeschlagen worden, die darin bestanden, das Volumen des Nitroglycerins dadurch zu vermehren, dass dasselbe in einem grossen Volumen flüchtiger Lösungsmittel, wie z. B. Benzol, Äthyl- und Amylacetat etc., gelöst wurde.

„Weiter hat man den Vorschlag gemacht, die Nitrocellulose mit einem grossen Überschuss (etwa dem Neun- bis Zehnfachen ihres Gewichts) von Nitroglycerin zu mischen, und, wenn die Nitrocellulose auf diese Weise vollkommen

---

[1]) Lässt man die Lösungsflüssigkeit nur kurze Zeit einwirken, so kann die Nitroglycerinentziehung auf die obersten Schichten beschränkt bleiben, und ein Pulver mit Schichten von zunehmendem Nitroglyceringehalt im Korn entstehen; doch lässt sich auch auf diesem Wege eine progressiv beschleunigte Verbrennung aus dem auf S. 226 genannten Grunde praktisch nicht erzielen. (Anm. d. Verf.)

gesättigt ist, den Überschuss gegen den Procentsatz, welchen sie in dem Produkte an Nitroglycerin enthalten soll, auszudrücken.

„Beide vorgenannten Verfahrensweisen haben grosse Nachteile:

„Bei dem ersten ist durch Verdampfung der Überschuss des Lösungsmittels, nachdem die gleichmässige Verteilung bewirkt worden ist, zu beseitigen, während bei der zweiten Methode der Nachteil vorliegt, dass mit sehr grossen Mengen Nitroglycerin für eine verhältnismässig geringe Menge des fertigen Explosivstoffes gearbeitet werden muss.

„Überdies hat es sich fast als unmöglich in der Praxis herausgestellt, ein Verdicken des ausgepressten Nitroglycerins zu vermeiden, und zwar infolge der geringen Gelatinisierung, welche Platz greift, während das Nitroglycerin mit der Nitrocellulose in Berührung ist.

„Unsere Methode wurde ursprünglich dazu erfunden, um den eingangs bezeichneten Zweck zu erreichen, nämlich die gleichförmige Kombination und Vereinigung grosser Mengen Nitrocellulose mit Nitroglycerin, ohne dass die bei anderen Methoden erfahrenen Mängel und Übelstände eintreten.

„Es hat sich indessen gezeigt, dass unsere Methode eine weit grössere Anwendbarkeit besitzt, als das Mischen des Nitroglycerins und der löslichen Nitrocellulose, und es sollen in Nachstehendem Beispiele angegeben werden, welche Körper nach unserem Verfahren mit Erfolg gemischt worden sind, ebenso wie zur Anwendung gebrachte Abänderungen der Methode behandelt werden sollen.

„Die Materialien, welche nach unserer Methode mit Nitroglycerin und anderen Flüssigkeiten vereinigt werden können, sind lösliche oder unlösliche Nitrocellulosen, Nitrohydrocellulosen und Nitrooxycellulosen, gleichgültig welchen Ursprungs und zweckmässig im Zustande feiner Verteilung. Die flüssigen Körper, mit welchen die Materialien vereinigt werden können, sind organische Nitrate oder Nitrosubstanzen, wie z. B. Nitroglycerin, Äthylnitrat, Nitrobenzol, geschmolzenes Binitrobenzol, Pikrinsäure und andere ähnliche Substanzen. Der Kürze wegen soll in Folgendem von dieser letzteren Klasse von Substanzen als den organischen Substanzen und von ersteren als den Cellulose-Derivaten gesprochen werden.

„Beim Mischen von Cellulose-Derivaten mit organischen Substanzen, die bei gewöhnlicher Temperatur flüssig und in Wasser unlöslich sind, ist es ausreichend, erstere in Wasser durch lebhaftes Umrühren zu suspendieren und letztere in Strahlen- oder Spreuform oder in anderer bequemer Weise unter fortgesetztem lebhaften Umrühren bezw. Bewegen einzuführen.

„Wenn z. B. auf diese Weise Nitroglycerin und Nitrocellulose zu gleichen Teilen gemischt werden sollen, so nimmt man z. B. 10 Gewichtsteile Nitrocellulose, die fein zerteilt ist, und mischt sie in einem Behälter mit 100 Teilen Wasser unter lebhaftem Umrühren durch Luft, um die Nitrocellulose vollkommen suspendiert zu erhalten. Alsdann werden 10 Gewichtsteile Nitroglycerin eingegossen oder eingespritzt, wobei gleichfalls fortwährend umgerührt und mit diesem Rühren eine Zeit lang fortgefahren wird, um Gleichmässigkeit zu sichern.

Das Nitroglycerin wird durch die Nitrocellulose vollkommen absorbiert und von derselben zurückgehalten, so dass, wenn das Wasser hinterher abgeseiht wird, in demselben Nitroglycerin nicht nachweisbar ist. Wenn Cellulose-Derivate mit organischen Substanzen vereinigt werden sollen, die bei gewöhnlichen Temperaturen fest sind, z. B. mit gleichen Teilen Pikrinsäure und Binitrobenzol, so werden diese Körper zuerst in geschmolzenem Zustande gemischt. Der Schmelzpunkt der Mischung liegt unter 100° C. Um ein inniges Gemisch dieser organischen Substanzen mit den Cellulose-Derivaten zu erhalten, ist es notwendig, das Wasser, in welchem letztere suspendiert sind, auf einer Temperatur zu erhalten, die ein wenig über dem Schmelzpunkte der organischen Substanzen liegt. Da Pikrinsäure in Wasser löslich ist, ist es weiter notwendig, um die genaue Zusammensetzung des gewünschten Explosivstoffes zu erhalten, dass das warme Wasser, welches zum Suspendieren der Cellulose-Derivate angewandt wird, mit Pikrinsäure gesättigt wird, ehe die angegebene geschmolzene Mischung zugesetzt wird, so dass eine Auflösung des Gemisches nicht eintreten kann.

„Wenn auf diese Weise 20 Gewichtsteile eines Explosionsstoffes hergestellt werden sollen, der aus 50 % Nitrocellulose, 25 % Pikrinsäure und 25 % Binitrobenzol besteht, so werden 100 Gewichtsteile Wasser bei einer Temperatur von etwa 80° C. mit Pikrinsäure gesättigt, und die 10 Gewichtsteile fein verteilter Nitrocellulose werden in der warmen Pikrinsäurelösung suspendiert, die mittelst eines Warmwasser- oder Dampfbades in dem Mischkessel auf erforderlicher Temperatur erhalten wird. Die geschmolzene Mischung von 5 Gewichtsteilen Pikrinsäure und 5 Gewichtsteilen Binitrobenzol wird nun in feiner Verteilung oder zerstäubt unter beständigem Umrühren eingeführt. Nach dem vollständigen Mischen wird das Wasser mit der ursprünglich darin gelösten Pikrinsäure abgeseiht.

„Das Verfahren kann dadurch geändert werden, dass man die Cellulose-Derivate und die organischen Substanzen in besonderen Mengen der Flüssigkeit suspendiert, und dass man dann die beiden Flüssigkeiten, welche die suspendierten Substanzen enthalten, mischt und lebhaft durchrührt. Ein Injektor, der durch Pressluft oder in passenden Fällen durch Dampf bethätigt wird, kann dazu Anwendung finden, oder es kann die Untermischung und das Umrühren mittelst mechanischer Rührwerke oder mittelst Luft oder Dampfes, oder in anderer geeigneter Weise erfolgen.

„Die Cellulose-Derivate können trocken oder nass angewendet werden; letzteres ist vorzuziehen, weil in diesem Falle die Möglichkeit geringer ist, dass Partikelchen der Cellulose-Derivate ungelöst bleiben.

„Die vorstehend beschriebenen Mischverfahren sind von uns dazu benutzt worden, andere Körper in die von uns hergestellten Explosivstoffe einzuführen. So erhält man durch Auflösen von Natrium- oder Ammoniumcarbonat oder anderen geeigneten Körpern in dem Wasser eine sehr innige Vereinigung des endgültigen Explosivstoffes mit solchen Körpern, wie sie gegenwärtig als Stabilisatoren Anwendung finden, und durch Auflösung von Anilin oder Diphenylamin etc. in dem Nitroglycerin wird derselbe Zweck auf andere Weise erreicht. Es ist indessen nicht erforderlich, diese Körper in Lösung zu haben.

„Wenn auf diese Weise gepulvertes Magnesiumcarbonat oder Calciumcarbonat in das in Bewegung erhaltene Wasser, welches die Cellulose-Derivate enthält, eingeführt wird, so wird eine gleichmässige Verteilung und Vermischung dieses Pulvers in dem fertigen Explosivstoff erhalten.

„Bei den ersterwähnten Beispielen wurde angenommen, dass die Mischung 50 % Cellulose-Derivate enthielt. Es soll das Verfahren indessen nicht auf diese Verhältnisse beschränkt werden, da nach dem Verfahren auch die gleichförmige Mischung von 90 Gewichtsteilen Cellulose-Derivaten mit 10 Gewichtsteilen Nitroglycerin erfolgreich hat durchgeführt und ein Gemisch erhalten werden können, das nach schliesslicher Behandlung mit heissen Walzen transparent war, woraus geschlossen werden kann, dass dieser grosse Zusatz von Cellulose-Derivaten in der geringen Menge Nitroglycerin thatsächlich gelöst worden ist.

„Bei den früheren Beispielen ist Wasser als Verteilungsmittel genannt worden; in dem Falle, wo Pikrinsäure angewendet wurde, bestand das Verteilungsmittel aus einer gesättigten wässerigen Lösung dieser Säure. Wir beschränken uns nicht auf Wasser oder wässerige Lösungen. Es sind von uns Gasolin, Paraffinöl und die leichten Petroleumarten verwendet worden, welche bei der Rektifikation von Benzin erhalten werden; es ist indessen klar, dass, wenn andere Substanzen mit einander gemischt werden sollen, auch andere Verteilungsmittel Anwendung finden können.

„Wichtig ist, dass das Verteilungsmittel nicht im stande ist oder unfähig gemacht wird, irgend einen der wesentlichen Bestandteile der Mischung zu lösen, da sonst das Endprodukt eine ungenaue und unsichere Zusammensetzung haben würde.

„Nach dem Mischen wird die grösste Menge der Flüssigkeit durch Abseihen, Filterpressen, Centrifugen oder in anderer Weise abgeschieden, worauf die Fertigstellung des Explosivstoffes in irgend einer gewünschten Weise erfolgt.

„Patent-Anspruch:

„Das Verfahren zum Untermischen bezw. innigem Vereinigen von löslicher oder unlöslicher Nitrocellulose, Nitrohydrocellulose oder Nitrooxycellulose mit Nitroglycerin, Nitrobenzol, geschmolzenem Binitrobenzol, Pikrinsäure oder Binitrotoluol, darin bestehend, dass entweder das eine oder beide Ingredienzien in Wasser oder einer anderen Flüssigkeit suspendiert werden, die die Stoffe nicht aufzulösen vermag oder lösungsunfähig gemacht worden ist, worauf nach lebhaftem Durcheinanderrühren der Stoffe in der Flüssigkeit letztere abgeschieden wird.“

Wahrscheinlich, weil der das Wesentliche an dem patentierten Verfahren präzisierende „Patent-Anspruch“ von der weiteren Behandlung der Explosivstoff-Masse nach dem Abscheiden der Suspendierungs-Flüssigkeit nichts sagt, es sich aber späterhin als unentbehrlich erwiesen hat, zur Vollendung des Vereinigungsprozesses noch Wärme und Druck anzuwenden, haben Lundholm und Sayers noch ein Zusatzpatent (No. 55650) genommen, in welchem die Fertigstellung der Mischung durch Erwärmung und Druck

betont wird (die nötige Wärme wird durch Heizung der Pressvorrichtungen zugeführt; in manchen Fällen kann auch die schon durch das Pressen ohne Kühlung in der gepressten Masse entstehende Erwärmung genügen). Das Zusatzpatent legt auch auf die Benutzung von Nitrohydrocellulose und Nitrooxycellulose anstatt der gewöhnlichen Nitrocellulose besonderen Nachdruck, da diese beiden Abarten der Nitrocellulose weit leichter gelatinierbar seien, als die letztere. Hydrocellulose ($C_{12}H_{22}O_{11}$, unter der Annahme, dass Cellulose $C_{12}H_{20}O_{10}$) hat zuerst A. Girard hergestellt und nitriert (Ber. d. Par. Akad. vom 23. Juni und 21. Juli 1879; Ber. d. Deutschen Chem. Gesellsch., Bd. XII, S. 2085 und 2158 und Bd. XIV, S. 2834). Man erhält sie am leichstesten, indem man Baumwolle bei etwa 15° C. 12 Stunden lang in Schwefelsäure von 1,453 spec. Gew. liegen lässt, sorgfältig auswäscht und bei niedriger Temperatur trocknet, oder indem man einen Strom von feuchtem Salzsäuregas durch Baumwolle leitet. Trockenes Salzsäuregas ist zunächst ganz unwirksam; bringt man aber die mit ihm behandelte Cellulose in feuchte Luft, so bildet sich schnell unter Entwickelung von Wärme Hydrocellulose. Weniger leicht kann man sie durch Einwirkung von Jod-, Brom- und Fluorwasserstoffsäure, sowie verschiedener organischen Säuren auf Cellulose herstellen. Die Nitration erfolgt, wie bei gewöhnlicher Cellulose; Girard hat gefunden, dass die Nitrationsprodukte bei gleichem Kohlenstoffgehalt stets auch gleichen Stickstoffgehalt haben, wie aus unveränderter Baumwolle gewonnene. Es ist demnach wohl zu vermuten, dass sich die Hydrocellulose unter der Einwirkung der Nitriersäure zuvörderst wieder in Cellulose verwandelt; jedenfalls ist aber das Endprodukt von gewöhnlicher Schiessbaumwolle nur dadurch zu unterscheiden, dass es, wie die unnitrierte Hydrocellulose, sehr leicht zerreiblich ist. Aus diesem Grunde ist es auch etwas leichter zu gelatinieren; doch dürfte dieser Vorteil nicht so bedeutend sein, dass es sich lohnte, die zur Herstellung von Gelatine-Explosivstoffen bestimmte Cellulose zuerst in Hydrocellulose überzuführen.[1]) Oxycellulose ($C_{18}H_{26}O_{16}$,

---

[1]) Mit der Girard'schen Hydrocellulose eng verwandt (vielleicht identisch; vgl. Tollens in dem S. 192 zitierten Artikel) ist diejenige Substanz, welche dem bekannten „Pergamentpapier" seine Vorzüge vor gewöhnlichem Papier erteilt und welche durch die Einwirkung von Schwefelsäure oder Zinkchlorid auf Pflanzenfaser entsteht. Auf die Nitrierung dieser (in Essigsäure löslichen) Substanz beruht wohl ein von A. Voswinkel angegebenes Verfahren zur direkten Darstellung gelatinierter Nitrocellulose, bei welchem Cellulose mit einer Mischung von Zinkchloridlösung, Essigsäure und rauchender Salpetersäure stehen gelassen wird, bis sich (nach einigen Tagen) eine gelatinöse Masse gebildet hat, die man dann auswäscht und trocknet. Die „Mitteilungen üb. Gegenst. des Artill.- u. Genie-Wesens" (1894, VI. Heft) bemerken zu dieser Erfindung mit Recht, dass sich saure Gelatinen erfahrungsgemäss nicht gut entsäuren lassen und stets in Nestern Säurereste zurückhalten, so dass das langwierige Verfahren nur zu unstabilen Präparaten führen könne. — Die schwierige Auswaschung klebriger

wenn Cellulose $C_{18}H_{30}O_{15}$) haben zuerst C. F. Cross und E. J. Bevan durch Kochen von Cellulose mit 60procentiger Salpetersäure und Fällen der entstehenden Lösung mit Wasser bereitet (Ber. der „Chemical Society", 1883, I, S. 18 ff.; Ber. der D. Chem. Ges., Bd. XVI, S. 415). Auch ihre Nitrationsprodukte scheinen sich von Nitrocellulosen gleicher elementarer Zusammensetzung nur durch etwas leichtere Gelatinierbarkeit (infolge der Pulverform) zu unterscheiden, so dass ihre Verarbeitung zu rauchschwachem Pulver keine besonderen Vorteile bieten dürfte und wohl auch in fabrikmässigem Betriebe noch nicht stattgefunden hat. Als wertvoll hat sich dagegen die Lundholm-Sayers'sche Mengungsmethode erwiesen. Durch ihre Vereinigung mit der Nobel'schen Methode, Kollodiumwolle mit Nitroglycerin erst bei einer keine Gelatinierung zulassenden Temperatur zu mengen und dann zu erwärmen, ist es gelungen, völlig gleichmässige Gelatinen zu erhalten, ohne zunächst einen später zu entfernenden Überschuss an Nitroglycerin in die Mischung zu bringen. Das so entstandene Verfahren beschreibt die „Dynamit-Aktiengesellschaft vorm. Alfred Nobel & Co. in Hamburg" im Deutschen Patent No. 56785 vom 2. Mai 1890 folgendermassen:

„Nach dem Patent No. 51471 lässt man Nitroglycerin in darin eingetauchte Nitrocellulose einsickern, lässt bei niederer Temperatur — + 6 bis 8° C. — und unter Vakuum gleichmässige Verteilung eintreten, scheidet dann durch Pressen oder Abschleudern den Nitroglycerinüberschuss ab und lässt darauf erst in entsprechend hoher Temperatur — + 60 bis 90° C. — das Gelatinieren, d. i. das Lösen der Nitrocellulose in dem Nitroglycerin, vor sich gehen. Durch Pressen, Kneten und Walzen wird dann die Masse völlig homogen gemacht und endlich entsprechend geformt.

„Die so erzeugte Sprenggelatine zeichnet sich vor der früher nur bekannten durch sehr hohen Gehalt an Nitrocellulose aus.

„Der hier erwähnte Herstellungsvorgang für eine so als Schiesspulver brauchbare Sprenggelatine ist dadurch jetzt vereinfacht und verbessert worden, dass von vornherein Nitroglycerin nur in der Menge mit der Nitrocellulose zusammengebracht wird, in der es im fertigen Erzeugnis enthalten sein soll.

„Es wird die Nitrocellulose nicht trocken in überschüssiges Nitroglycerin eingetaucht, sondern es wird ihr, wenn sie ganz mit Wasser durchtränkt ist, das Nitroglycerin in entsprechend geringer Menge zugefügt. Man thut dies zweckmässig, wenn die Faser, ähnlich wie dies für Papierbrei geschieht, zerschnitten ist, und das dann freiwillig von ihr abfliessende Wasser von ihr entfernt ist.

Nitrationsprodukte ist z. B. auch die Ursache, warum die zum teil in reinem Zustande sehr brauchbaren Salpetersäure-Verbindungen der Zucker bisher so gut wie keine praktische Verwendung gefunden haben.

„Durch mechanisches Mischen mit den Händen oder mittelst einer entsprechenden Rühr- oder Mischvorrichtung gelingt es, Nitroglycerin und Nitrocellulose innig und gleichmässig durch einander zu verteilen. Selbstverständlich wird dies nur in der erwähnten niedrigeren Temperatur von 6 bis höchstens 10° C. vorgenommen.

„Man kann die Innigkeit der Mischung dadurch befördern, dass man die Masse, wie dies im Haupt-Patent beschrieben ist, unter Vakuum bringt oder auch, dass man sie etwa 2 Tage lang lagern lässt, oder endlich und am schnellsten dadurch, dass man den mechanischen Mischungsvorgang lange genug unterhält.

„Nach eingetretener Gleichförmigkeit in der Mischung lässt man nun in der erwähnten höheren Temperatur, wie dies im Haupt-Patent beschrieben ist, das Gelatinieren vor sich gehen und bearbeitet die Masse, gleichfalls wie beschrieben, weiter.

„Beim Kneten und Walzen und Pressen in der höheren Temperatur wird das in der Masse enthaltene Wasser zum grössten Teil mechanisch entfernt, zum anderen Teil aber daraus verdampft.

„Zur Erläuterung des Verfahrens diene noch Folgendes: Schon in der Beschreibung zum Haupt-Patent No. 51471 ist auseinandergesetzt, dass, wenn Nitrocellulose und Nitroglycerin in alter Weise — Patent No. 4829 — zum Zwecke des Lösens gemengt werden, nur eine geringe Menge Nitrocellulose sich in dem Nitroglycerin auflöst, und dass es darauf ankommt, womöglich mehr als 50 % Nitrocellulose mit möglichst weniger als 50 % Nitroglycerin zur Gelatinierung ohne Zuhülfenahme Lösung befördernder Stoffe zu bringen. Beim Verfahren des Haupt-Patentes No. 51471 ist dazu immer noch nötig, zu Anfang eine grössere Menge Nitroglycerin — die 6- bis 8fache Gewichtsmenge gegenüber der Nitrocellulose — in die Bearbeitung zu nehmen. Nach der jetzt beschriebenen Neuerung an dem Verfahren wird nur so viel Nitroglycerin in die Verarbeitung genommen, als im fertigen Erzeugnis enthalten sein soll.

„Da man beim Arbeiten mit Nitroglycerin, sowie überhaupt mit Explosivstoffen der Gefahr halber stets bemüht sein wird, nur mit möglichst geringen Mengen zu hantieren, so liegt ein grosser Vorzug in der Neuerung am Verfahren darin, dass nur verhältnismässig kleine Nitroglycerinmengen auf die Arbeitsstätte zu kommen brauchen.

„Weil jedes mechanische Hantieren mit Nitroglycerin gefährlich ist, so liegt weiter ein neuer technischer Effekt bei der Ausübung der hier geschilderten Neuerung am Verfahren darin, dass jetzt das Abpressen oder Abschleudern des überschüssigen flüssigen Sprengstoffes ganz fortfällt, ein bedenklicher Vorgang während der Arbeit also beseitigt ist. Es sind so auch keine Nitroglycerinrückstände aus der Arbeit mehr vorhanden, also auch nicht mehr mit Vorsicht zu berücksichtigen.

„Ein noch viel grösserer Vorteil liegt sodann in dem Umstand, dass das umständliche und ganz besonders gefährliche Trocknen der Nitrocellulose und

das Aufbewahren von getrockneter Nitrocellulose, sowie das Hantieren mit dieser durch die Neuerung am Verfahren unnötig geworden sind.[1])

„Die bereitete Nitrocellulose wird gleich feucht, wie sie ist, ohne Trocknung mit dem Nitroglycerin zusammengebracht. Letzteres verteilt sich unter Verdrängung des Wassers aus den Poren der Nitrocellulose gleichmässig in dieser. In der genannten höheren Temperatur geht dann ein Lösen der Faser in dem von ihr aufgesaugten Nitroglycerin vor sich, d. h. das Gelatinieren tritt ein. Das gegenwärtige Wasser hindert diesen Vorgang nicht. Nach dessen Beendigung lässt sich das Wasser zum grössten Teil leicht abpressen, ohne dass das nun durch das Gelatinieren gebundene Nitroglycerin mit fortfliessen könnte.

„Wie es in der Beschreibung zum Haupt-Patent No. 51471 für zufällig in der verwendeten Nitrocellulose enthaltenes Wasser ausdrücklich gesagt ist, so geht auch jetzt beim weiteren Verarbeiten das in der Masse bis dahin verbliebene Wasser unter den erwärmten Quetsch- und Knetwalzen teils abfliessend, teils in Dampfform fort, bis es schliesslich ausgetrieben ist.

„Die zur Arbeitsstätte kommende, besagter Weise kleinere Nitroglycerinmenge wird, wie erwähnt, nach der Neuerung am Verfahren sofort mit nasser Nitrocellulose gemischt. So lange bei der Arbeit dann noch ungebundenes Nitroglycerin vorhanden ist, bleibt die Masse immer mit Wasser vermengt. Hierdurch ist ihre Empfindlichkeit gegen Stoss und Feuer ausserordentlich verringert, im ganzen ist also das Herstellen von Sprenggelatine nach der Neuerung im Verfahren bedeutend gefahrloser, als es nach dem Verfahren des Haupt-Patentes und überhaupt früher war."

Bei der Bestimmung des Mischungsverhältnisses der beiden Grundbestandteile seines Pulvers hatte Nobel eine Zersetzung zu $26 CO_2 + 58 CO + 61 H_2O + 48 N$ im Auge, für welche unter der Voraussetzung, dass die Kollodiumwolle genau 11,11 % N enthält und das Nitroglycerin reines Trinitroglycerin ($C_3H_5[NO_3]_3$) ist, 49,97 % Kollodiumwolle und 50,03 % Nitroglycerin nötig sind; die jetzt in der Fabrikation übliche Abrundung der Verhältniszahlen auf je 50 % thut aber den Leistungen des Pulvers um so weniger Eintrag, als es in neuerer Zeit gelungen ist, den Stickstoffgehalt der zu Nobel-Pulver bestimmten Kollodiumwolle nicht unbedeutend über 11,11 % zu erheben: so soll z. B. die in der Nobel'schen Fabrik in Ardeer verarbeitete Kollodiumwolle nach W. Macnab

[1]) Es ist dies in der That ein ganz erheblicher Vorteil. Sonst wird die aus dem Schneidholländer kommende (und meistens der bequemeren Handhabung halber durch gelindes Pressen in zusammenhängende, aber leicht zu zerbröckelnde Körper verwandelte) Nitrocellulose zwar feucht aufbewahrt, aber vor der Gelatinierung getrocknet, welche Operation durch ein Tränken des wasserhaltigen Produktes mit Alkohol (der bei seiner leichten Verdunstung das Wasser mitnimmt) sehr beschleunigt werden kann, doch stets mit einiger Gefahr verbunden ist. — Guttmann schreibt wohl mit Recht einen bedeutenden Anteil an dem nicht seltenen Auffliegen von Nitrocellulose-Trockenhäusern elektrischen Vorgängen zu. (Anm. d. Verf.)

und E. Ristori (Ber. der „Royal Society", 1894, Bd. LVI, S. 8 ff.) sogar 12,24 % N enthalten. Dem entsprechend ist die potentielle Energie der Nobel'schen Pulver jetzt höher, als die auf S. 176 genannte Ziffer angiebt: mit einer in Ardeer hergestellten Gelatine aus 50 % Kollodiumwolle und 50 % Nitroglycerin erhielten Macnab und Ristori im Calorimeter 1349 Cal., während spanisches und italienisches „Ballistit" 1317, und deutsches 1291 Cal. ergab.

Der jetzt vielfach für Nobel-Pulver jeder Provenienz und Körnung übliche Name „Ballistit" sollte ursprünglich speziell das in Würfel gekörnte italienische Gewehrpulver Nobel'scher Zusammensetzung bezeichnen. Für dieses Pulver wird die Gelatine, wie im Nobel'schen Patent (S. 296) angegeben, zwecks möglichst gleichmässiger Durchgelatinierung zunächst durch Walzen zu ganz dünnen Blättern verarbeitet, aus denen man dann stärkere Platten zusammenwalzt. Schneidet man eine so entstandene stärkere Platte schräg zur Oberfläche durch, so lässt der Schnitt die Zusammensetzung aus Schichten erkennen; die rechtwinklig-prismatischen Streifen aber, welche zwischen Messerwalzen nach Art der in Abb. 37—39 dargestellten entstehen, zeigen als solche (Abb. 46) und nachdem sie durch Quermesser zu Würfeln (Abb. 47) zerschnitten sind, durchaus gleichmassige Schnittflächen. — Die Färbung ist bei allen nitroglycerinhaltigen Pulvern etwas brauner, als bei reinen Nitrocellulosepulvern. —

Abb. 47.

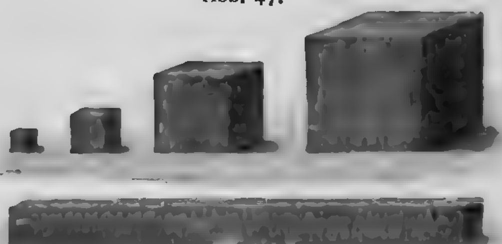


Abb. 46.

Nobel'sches Würfelpulver verschiedener Korngrössen und Streifen, aus welchen die Würfel geschnitten werden.

Für die Artillerie hat Italien ein Nobel-Pulver in vierkantigen Streifen unter dem Namen „Filit" (von „filo" = Zwirn, Draht) eingeführt. Die Streifen werden nicht aus Platten geschnitten, sondern durch eine Strangpresse unmittelbar aus der plastischen Gelatine dargestellt. Die erste Benutzung einer solchen Presse für die Fabrikation rauchschwachen Pulvers erfolgte durch den bekannten amerikanischen Waffentechniker Hiram S. Maxim, und zwar unter Anwendung einer besonderen Methode der Gelatinierung. Während sonst das Gelatinierungsmittel stets in festem oder flüssigem Zustande mit der Nitrocellulose gemengt wird, führte es Maxim, um möglichst wenig davon zu gebrauchen, in Dampfform zu, und unterstützte die vollkommene Durchgelatinierung durch Auspumpen der Luft aus der zu gelatinierenden Schiessbaumwolle. Zur Ausführung der Operation

diente z. B. (nach D. R. P. No. 49154 vom 16. Dezember 1888) die in Abb. 48 dargestellte Vorrichtung. Der Presscylinder *A* ist an einem Ende durch einen abnehmbaren Deckel *a* mit Stopfbüchse a^1, durch welche die Stange b^1 eines Kolbens *b* geht, verschlossen; an dem anderen, dauernd verschlossenen Ende befindet sich ein Rohransatz *c* mit Hahn oder Ventil c^1, auf welchen ein Rohr *e* aufgeschraubt werden kann. Nachdem der Cylinder *A* mit Nitrocellulose gefüllt worden, pumpt man durch das Rohr *e* die Luft aus und lässt dann durch dasselbe Rohr aus einem Destillierapparat Dämpfe von Aceton, Essigäther o. ä. eintreten. Ist genug von dem Lösungsmittel eingedrungen, so schraubt man das Rohr *e* ab und drückt vermittelst hydraulischer Kraft oder einer anderen geeigneten Anordnung den Kolben *b* in den Presscylinder hinein, so dass der Inhalt in Form eines Stranges durch den Rohransatz *c* hinaustritt. Die Gelatinierung durch Dämpfe im Vakuum hat keine ihrer grösseren Umständlichkeit entsprechenden Vorteile vor anderen Gelatinierungsarten ergeben; um aber vorher in einem anderen Apparat gelatinierte Pulvermasse unmittelbar in Streifen oder Drähte zu verwandeln, wendet man die Strangpresse um so häufiger an, als sie eine sehr starke Pressung der Gelatine gestattet, so dass Strangpressen-Pulver aus Nitrocellulose mit oder ohne Nitroglycerin (welches letztere durch sein Hinzutreten zu amorpher Nitrocellulose das specifische Gewicht dieser nicht erheblich ändert) oft etwas über 1,6 spec. Gew. haben. Den Querschnitt der gespressten Stränge kann man natürlich durch Anbringen verschiedener Mundstücke an der Presse beliebig gestalten; unter Anwendung einer ringförmigen Öffnung hat man aus Pulvermasse sogar hohle Stangen nach Art der Maccaroni gepresst. Das Zerschneiden der Stränge geschieht durch Quermesser, die man, je nachdem längere oder kürzere Stücke (Stangen, Körner, dünne Plättchen) gewünscht werden, langsamer oder schneller rotieren lässt. Das italienische Filit wird in Stangen von der Länge der Kartusche zerschnitten, von denen für jede Ladung eine bestimmte Anzahl abgezählt und durch aus derselben Pulvermasse gepresste Ringe und Kappen zu einem Bündel vereinigt wird.

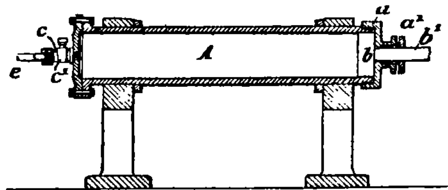


Abb. 48. Maxim's Strangpresse für rauchschwaches Pulver.

Für blinde Schüsse kommt das italienische Nobel-Pulver in sehr feinen Spänchen zur Verwendung, die anscheinend durch Hobeln oder Fräsen erzeugt werden. In ähnlicher Form für blinde Schüsse, und in der Form runder, durch eine Strangpresse erzeugter Drähte oder Stränge

(engl. „cord"; daher der Name des Pulvers: „Cordite") für alle scharfen Schüsse der Armee und Marine ist ein anderes, aus Nitrocellulose und Nitroglycerin bestehendes Präparat in England eingeführt.

Schiessbaumwolle, die in Ätheralkohol unlöslich ist, löst sich auch in Nitroglycerin nicht; der uns schon durch seine Verdienste um die Stabilisierung der Schiessbaumwolle bekannte Prof. Abel und der in neuester Zeit namentlich durch seine erfolgreichen Kälteerzeugungs- und Gasverdichtungsversuche berühmt gewordene Naturforscher Prof. Dewar fanden aber im Jahre 1889, dass wenn man höchstnitrierte Nitrocellulose und Nitroglycerin in einem gemeinschaftlichen Lösungsmittel — z. B. in Aceton — auflöst und das Lösungsmittel sich verflüchtigen lässt, nicht etwa, wie man erwarten sollte, flüssiges Nitroglycerin und aus ihm ausgefällte Nitrocellulose, sondern eine durch Vereinigung der beiden Stoffe entstandene Gelatine zurückbleibt. Derartige Gelatine hat natürlich bei gleichem Mischungsverhältnis eine erheblich grössere potentielle Energie, als das „Ballistit": Macnab und Ristori fanden als Wärmeergebnis einer Gelatine aus gleichen Teilen einer Nitrocellulose, die 13,30 % N enthielt und 1061 Cal. aus dem Kilogramm entwickelte, und Nitroglycerin 1410 Cal.; das in England eingeführte „Cordit" hat jedoch in Rücksicht auf die Erhaltung der vorhandenen Waffen eine solche Zusammensetzung (37 % Schiessbaumwolle, 58 % Nitroglycerin und 5 % Vaseline) erhalten, dass seine Wärmeentwickelung nur etwa der des Ballistits entspricht: Macnab und Ristori fanden einmal sogar nur 1253 Cal.

Als mittleres Wärmeergebnis der gebräuchlichen Nitroglycerin-Nitrocellulosepulver werden wir demnach etwa 1300 Cal. annehmen dürfen, während die durchschnittliche potentielle Energie von Nur-Nitrocellulose-Gelatinen wegen stets zurückbleibender kleiner Lösungsmittel-Reste etwa mit 1050 Cal. zu bezeichnen ist. Bei gleicher Ausnutzung der vorhandenen Mengen potentieller Energie würden sich also die ballistischen Arbeitsleistungen der beiden Pulverklassen zu einander etwa wie 1300 zu 1050 stellen; wegen der grösseren Verbrennungsgeschwindigkeit der nitroglycerinhaltigen Pulver ist aber bei diesen die Ausnutzung in Feuerwaffen — namentlich in kurzen Rohren, vgl. S. 136—138 — besser. So leisten z. B. (nach der offiziellen Schiessvorschrift) im italienischen 9 cm-Feldgeschütz 0,460 kg Nobel-Pulver ebensoviel, wie 1,450 kg grobes schwarzes Geschützpulver, während im deutschen 8,8 cm-Feldgeschütz 0,64 Blättchenpulver aus reiner Nitrocellulose und 1,50 kg grobes schwarzes Geschützpulver gleiche Ergebnisse liefern. Die beiden Geschütze und die beiden Schwarzpulver stehen einander so nahe, dass in den genannten Zahlen die bessere Energieausnutzung bei dem Nitroglycerinpulver unzweideutig hervortritt: dieses leistet für die Geschossbewegung 3,105 mal, das andere

Pulver nur 2,343 mal soviel als Schwarzpulver; die ballistisch verwerteten Arbeitsleistungen verhalten sich also etwa wie 31 zu 23, während sich die höchsten Arbeitsmengen, welche die beiden Pulver theoretisch leisten könnten, nur wie 1300 zu 1050 oder 26 zu 21 verhalten. Leider ist aber mit der grösseren Verbrennungsgeschwindigkeit eines Pulvers stets eine grössere Beanspruchung der Festigkeit der Schusswaffen verbunden, und speziell die Nitroglycerinpulver leiden im Vergleich zu anderen Treibmitteln auch noch an dem Übelstand, dass sie zwar, wie eben dargelegt, von ihrer Wärmeentwickelung einen verhältnismässig grossen Teil mechanisch verwerten lassen, dass sich aber der unverwertete Teil u. a. in einer sehr starken Wärmeabgabe an die Umgebung bemerkbar macht. Die Ursache dieser Erscheinung vermutet Hebler („Das kleinste Kaliber“, Bd. II, S. 160) gewiss mit Recht in der hohen Flammentemperatur des Nitroglycerins. Die genannten beiden Übelstände sind gewiss nicht so bedeutend, wie es während des mehrjährigen „Cordite“-Prozesses, in welchem die Inhaber der Nobel'schen Patente die Patente Abel's und Dewar's anfochten,[1]) und in welchem man natürlich sowohl vom „Cordit“ wie vom „Ballistit“ viel Böses hörte, erscheinen konnte: im neuen italienischen 6,5 mm-Gewehr erteilen 2,1 g Ballistit dem 10,5 schweren Geschoss eine Anfangsgeschwindigkeit von 720 m, ohne dass wegen zu hohem Gasdrucks Schwierigkeiten beim Herausziehen der Hülsen eintreten, und wenn auch, wie eine sonst sehr zuverlässige Fachzeitschrift („The Broad Arrow“) in jüngster Zeit behauptete, im englischen 30 cm-Geschütz die aus 13 mm dicken und 35 cm langen Corditstangen bestehende Ladung das Rohrinnere durch Erhitzung so stark angreift, dass man für diese Geschütze zum braunen prismatischen Pulver zurückzukehren gedenkt, so teilt das Abel-Dewar'sche Schiesspräparat die Unbrauchbarkeit für so kolossale Kaliber mit den meisten anderen modernen Gelatinepulvern, die, so vollständig sie auch heute das Gebiet der Handfeuerwaffen und Feldgeschütze beherrschen, auf dem Gebiet der schweren Kaliber noch immer der im ersten Kapitel dieses Buches behandelten Klasse rauchschwacher Pulver ein ziemlich ausgedehntes Wirkungsfeld gelassen haben. Immerhin haben die genannten beiden Mängel der Nitroglycerinpulver im Verein mit dem Umstande, dass man dem Nitroglycerin in Bezug auf Stabilität doch nicht alles zumuten kann, was die Nitrocellulose verträgt, die grosse Mehrzahl der Wehrmächte von einer Einführung dieser Pulver abgehalten. Es ist auch, wenn man berücksichtigt, wie gering in transportierter Munition das Gewicht des Pulvers allein im Verhältnis zum Gewicht der Geschosse,

[1]) Der Prozess endete schliesslich mit dem gerichtlichen Erkenntnis, dass die oben (S. 307) genannte Beobachtung Abel's und Dewar's Erfinderrechte begründe und die Cordit-Patente aufrechtzuerhalten seien.

Hülsen[1]), Verpackungen, Fahrzeuge u. s. w. ist, ziemlich gleichgültig, ob man z. B. 2,1 g Nitroglycerinpulver oder 2,7 g anderes rauchschwaches Pulver in der Gewehrpatrone transportiert, und dass die Nitroglycerinpulver einen etwas geringeren Raum beanspruchen, kann überhaupt kaum zur Geltung kommen, so lange die Ladungsräume der Geschütze und Handfeuerwaffen als ursprünglich für Schwarzpulver hergestellt oder aus anderen Gründen (vgl. S. 169, 196 und 278) meistens für jede rauchschwache Pulverladung noch zu gross sind.

Ausser dem „Ballistit“ und dem „Cordit“ giebt es noch eine Anzahl von Nitroglycerinpulvern, deren Eigenart aber gewöhnlich nur in verschiedenen Zusätzen besteht. Eine Art von Mittelding zwischen Ballistit und Cordit ist in England den Pulverfabrikanten Curtis und André patentiert: dieses Treibmittel besteht aus „niedrig nitrierter, in Ätheralkohol löslicher“ und „höchstnitrierter, nur in Aceton und Essigäther löslicher“ Nitrocellulose, die zusammen mit Aceton oder Essigäther und Nitroglycerin gelatiniert werden.

Neben dem Nitroglycerin kommt als explosives Gelatinierungsmittel für Nitrocellulose hauptsächlich das Nitrobenzol in Betracht, welches wir in Verbindung mit Nitrostärke schon (S. 104—106) kennen gelernt haben.

Munroe stellt (nach dem englischen Patente No. 580 vom 25. Februar 1893) ein rauchschwaches Pulver her, indem er kollodiumwollfreie Nitrocellulose (vgl. S. 293) mit 0,9 bis 1,8 Teilen Nitrobenzol auf 1 Teil Nitrocellulose gelatiniert, walzt, zu Würfeln zerschneidet und dann der Einwirkung heissen Wassers und Dampfes aussetzt. Bei der letztgenannten Operation verflüchtigt sich ein Teil des Nitrobenzols, und das Pulver wird härter, weshalb es den Namen „Indurit“ erhalten hat.

Als eine Vereinigung der Munroe'schen „Induration“, des Lundholm und Sayers'schen Mengungsverfahrens und einer in der bekannten Pulverfabrik von Wolff & Co. in Walsrode am Harz gebräuchlichen, in Deutschland unter No. 57399 vom 26. Januar 1890 ab patentierten sehr vereinfachten Körnmethode stellt sich das Verfahren dar, nach welchem F. C. und P. S. Du Pont in Wilmington (Nordamerika) ein rauchschwaches Pulver aus Nitrocellulose und Nitrobenzol herstellen (engl. Pat. No. 15865 vom 14. Oktober 1893). Das Wolff'sche Körnungsverfahren besteht darin, dass man zu der im Knetapparat befindlichen Gelatine eine Flüssigkeit

[1]) Das tote Gewicht der Metallhülsen der Handfeuerwaffen-Munition wird natürlich in dem Masse immer lästiger, wie sich das Kilogramm Pulver auf immer mehr Patronen verteilt, d. h. wie die Kaliber und mit ihnen die Pulverladungen immer kleiner werden. Die Patrone des eben genannten italienischen 6,5 mm-Gewehres z. B. wiegt 21,5 g, während Pulver und Geschoss zusammen nur 12,6 g, also nicht allzuviel mehr, als die Hälfte des Ganzen wiegen. Hier bringen vielleicht mit der Zeit Hülsen aus celluloidartigen Stoffen Abhülfe.

zusetzt, die sich wohl mit dem Lösungsmittel der Nitrocellulose, nicht aber mit letzterer selbst verbindet, und das Mischen und Kneten fortsetzt. Es entsteht hierdurch in der Masse ein Gerinnen und bei fortgesetztem Rühren ein Zerfall in immer kleinere Körner, die schliesslich getrocknet und gesiebt werden. Man bringt also z. B. 10 kg Nitrocellulose und 10 kg Essigäther o. ä. in eine Knetmaschine und lässt, nachdem diese eine Stunde lang gearbeitet hat, etwa 5 kg Wasser von 60^{0} C. oder eine entsprechende Menge Wasserdampf zur Gelatine treten, worauf man bei fortgesetztem Rühren schon nach einigen Minuten die Masse in Körner verwandelt sieht. Längeres Rühren rundet die Körner auch etwas ab. — Das auf diesem Wege erhaltene Pulver ist, da nur durch Kneten, nicht durch eigentliches Pressen verdichtet, weit leichter und poröser, als gewalzte oder in anderer Weise gepresste Pulver; es soll denn auch der Absicht der für Kriegszwecke auch vorzügliche Blättchenpulver fabrizierenden Firma nach nur für Jagdzwecke dienen, für welche es sich auch sehr bewährt hat und beliebt geworden ist. — Nach dem Du Pont'schen Verfahren werden zerkleinerte Nitrocellulose, Nitrobenzol (welches in Wasser schwer löslich, aber doch nicht so unlöslich wie die Nitrocellulose ist) und Wasser von vornherein zusammengebracht: d. h. die beiden Nitrokörper werden in einem Rührapparat in Wasser suspendiert, so dass sie sich, wie beim Lundholm-Sayers'schen Verfahren, zu Gelatine vereinigen, welche dann durch das Rühren im Wasser in Körner zerlegt wird. Hinzutretender Wasserdampf bewirkt eine Verflüchtigung des Nitrobenzols und „Induration“ der Gelatinekörner; damit aber diese möglichst abgerundet ausfallen, wird die Dämpfung erst in einer rotierenden Tonne zu Ende geführt. Man kann auf diesem Wege ziemlich runde Körner erhalten, doch ist diese Möglichkeit nur der grossen Weichheit der ungepressten Pulvermasse zu verdanken; und auch die „Induration“ macht solche Pulver nicht fest genug, damit die runde Form beim Schiessen zur Geltung kommen könnte (vgl. S. 225 und 263).

Die Methode, mit einem bei gewöhnlicher Temperatur flüssigen und allmählicher Verflüchtigung unterliegenden Lösungsmittel, welches im weiteren Verlauf der Fabrikation zum teil abgedampft, zum teil im Pulver belassen wird, zu gelatinieren, bringt überdies stets Produkte hervor, die in ihrer ballistischen Wirksamkeit sehr ungleichmässig sind. Zunächst ist es äusserst schwer, die gewollte teilweise Verflüchtigung so zu leiten, dass stets die gleiche Menge des Lösungsmittels in der Pulvermasse zurück bleibt; dann aber findet auch beim gelagerten Pulver eine fortgesetzte, nicht zu verhindernde und nicht vorauszuberechnende Verflüchtigung der flüchtigen Teile statt, die die potentielle Energie und die Verbrennungsgeschwindigkeit des Präparates ändert. Der letztgenannte

Übelstand bleibt natürlich auch bestehen, wenn keine gewollte partielle Verdampfung bei der Fabrikation stattgefunden hat, d. h. wenn man z. B. durch einfaches Mengen von Nitrocellulose mit Nitrobenzol und Walzen und Zerschneiden der Gelatine ein rauchschwaches Pulver darstellt,[1]) und er macht sich selbst dann in unangenehmer Weise geltend, wenn nur geringe Mengen des bei gewöhnlicher Temperatur flüssigen und flüchtigen Lösungsmittels gegen die Absicht des Herstellers in dem Gelatinepulver zurückgeblieben sind. Daher sucht man beim Gelatinieren mit Aceton, Essigäther u. ä., wie schon einmal erwähnt wurde, allgemein, das Lösungsmittel nach der Gelatinierung aus dem Pulver zu entfernen.

Es ist dies eine Arbeit, welche ebenso schwer ist, wie sie theoretisch leicht erscheinen könnte. Selbst die flüchtigsten Lösungsmittel werden von der Pulvergelatine mit einer geradezu überraschenden Zähigkeit festgehalten. Die meisten Gelatinepulver lassen noch nach Jahren durch ihren Geruch erkennen, mit welchem flüchtigen Lösungsmittel sie einst hergestellt worden, und dass sich ihre Zusammensetzung durch Verflüchtigung des zurückgebliebenen Lösungsmittels von Augenblick zu Augenblick zwar langsam, aber sicher ändert. Als zur Beseitigung des Lösungsmittels am wirksamsten hat sich langsame Trocknung im Vakuum unter fortlaufender Absaugung der entwickelten Dämpfe erwiesen; doch ist das Verfahren im Grossen nicht leicht durchzuführen, und man begnügt sich in den Pulverfabriken gewöhnlich mit langsamer Trocknung unter Ventilation; eine schnelle Erwärmung beim Trocknen ist bei Blättchenpulvern auch schon aus dem Grunde zu vermeiden, weil sie ein Werfen (Verziehen, Krümmen, Zusammenrollen) der Blättchen bewirkt, so dass dann das Pulver voluminöse und unregelmässig gelagerte Ladungen ergiebt.[2]) Bei dem Wolff'schen Körnverfahren (S. 309) wird dem Pulver

[1]) Nitroglycerin ist weit weniger flüchtig, als Nitrobenzol, und während Nitrobenzolpulver vom Kriegsgebrauch von vornherein ausgeschlossen erschienen, scheint man beim „Ballistit" und „Cordit" bisher keine Nitroglycerinabgabe während der Lagerung festgestellt zu haben: die von verschiedenen Seiten behauptete Ungleichmässigkeit der Wirkungen wurde stets teilweiser chemischer Zersetzung und beim Cordit auch der allmählichen Verflüchtigung zurückgebliebener Acetonreste zugeschrieben.

[2]) Absichtlich herbeigeführt und benutzt wird dieser Vorgang nur, wenn es ausnahmsweise auf grosse Gleichmässigkeit in den Leistungen des Pulvers nicht ankommt, dagegen für besondere Zwecke ein recht voluminöses Produkt aus unveränderter Gelatinemasse hergestellt werden soll (M. v. Förster's D. R. P. No. 83095). In den Händen von Schützen, die mit den Eigenschaften der modernen Pulver noch nicht vertraut sind, bietet ein recht voluminöses Pulver den Vorteil, dass die meistens noch für Schwarzpulver berechneten Patronenhülsen nicht so leicht überladen werden können; auch um Geschützkartuschen für blinde Schüsse ebenso gross zu machen, wie für scharfe, kann ein voluminöses Pulver zweckmässig sein. Um für die gleichen Zwecke auch die Pulvermasse in jedem einzelnen Korn porös und voluminös zu machen, setzt derselbe Erfinder bei der Gelatinierung indifferente, leicht lösliche

schon beim Körnen ein Teil des Lösungsmittels durch Auflösung in dem heissen Wasser entzogen, und die Auslaugung kann weiter geführt werden, indem man die fertigen Körner mit Wasser und Dampf auskocht; doch gelingt eine vollkommene Beseitigung des Äthers o. ä. auch auf diesem Wege nicht, und auch das Walsroder Pulver hat den charakteristischen „Äthergeruch". In manchen anderen Pulvern kann man nach dem „Trocknen" mehrere Procent Äther nachweisen.

Unter solchen Umständen drängt sich die Erwägung auf, ob es nicht vorteilhaft wäre, auf die praktisch nicht durchführbare Idee der Herstellung eines wirklich „reinen" Nitrocellulosepulvers unter Anwendung eines flüchtigen Lösungsmittels überhaupt zu verzichten und die Amorphisierung durch geringe Mengen unter den gewöhnlichen Umständen fester und keiner Verflüchtigung unterworfener Substanzen zu versuchen. Sind diese Substanzen an sich unexplosiv, so setzen sie die Entzündlichkeit und Verbrennungsgeschwindigkeit des Produktes zu sehr herab;[1]) besitzen sie aber eine wenn auch nur geringe Explosivität, so lassen sich mit ihrer Hülfe amorphe Nitrocellulose-Massen herstellen, die durchaus den Charakter von Schiesspulvern haben. Man muss dann natürlich immer solche Stoffe wählen, deren Schmelzpunkt unterhalb der für Nitrocellulose bereits gefährlichen Temperatur liegt; doch bieten die niedrigeren Nitrationsprodukte des Phenols, Benzols, Toluols und vieler ähnlichen organischen Verbindungen eine reiche Auswahl an geeigneten Substanzen. Die Herstellung von Schiesspulvern durch Vereinigung von Nitrocellulose und gescholzenem Dinitrobenzol, Dinitrotoluol, Trinitrophenol (Pikrinsäure) u. ä. ist schon aus dem Lundholm-Sayers'schen Patent (vgl. S. 297—300) bekannt. Auch H. Güttler löst Nitrocellulose und andere Nitrokohlehydrate in geschmolzenen, bei gewöhnlicher Temperatur festen Nitrokohlenwasserstoffen, wie Dinitrotoluol, Trinitrophenol u. s. w., jedoch ohne die Lundholm-Sayers'sche Suspendierung in heissem Wasser, nur durch Eintragen der Nitrocellulose o. ä. in das geschmolzene Lösungsmittel (D. R. P. No. 56946 vom 17. December 1889). Das Verfahren ist vereinfacht, nötigt jedoch, mehr von dem Lösungsmittel zu nehmen, um eine homogene Masse zu erzielen: das von Güttler als Jagdpulver in den Handel gebrachte „Plastomenit" wird nach Guttmann (Industrie der Explosivstoffe, S. 546) aus 1 Teil Nitrocellulose und 5 Teilen Dinitrotoluol hergestellt.

---

oder leicht flüchtige Stoffe, wie z. B. Zucker oder Naphtalin, zu, welche nach Fertigstellung des Pulvers aus diesem ausgelaugt oder zur Verdunstung gebracht werden. (D. R. P. No. 75822.)

[1]) In besonders hervorragendem Masse thut dies der Kampfer, der in Verbindung mit Nitrocellulose als sich unter gewöhnlichen Umständen nicht verflüchtigender Stoff bezeichnet werden kann (vgl. S. 265); daher seine Verwendung im „Celluloid" und um Nitroglycerin-Sprenggelatinen weniger empfindlich zu machen.

Wenn sich in Zukunft Mittel finden lassen, Nitrocellulose u. ä. mit so geringen Mengen bei gewöhnlicher Temperatur fester Kohlehydrate zu amorphisieren, dass die Produkte an Energie und Verbrennungsgeschwindigkeit dem „reinen“ Nitrocellulosepulver nicht nachstehen, so kann vielleicht solchen Pulvern eine glänzende Zukunft beschieden sein. Ein Pulver, welches nur zu einem Bruchteil aus Nitrocellulose, im übrigen aber aus Dinitrobenzol, Dinitrotoluol oder einem ähnlichen nur schwach explosiven Stoff besteht, hat natürlich von der Kraft und der Entzündlichkeit der Nitrocellulose sehr viel verloren; es büsst aber gleichzeitig auch an Brisanz sehr bedeutend ein, und wenn einmal eine „Verdünnung“ der Nitrocellulose geboten erscheint — es ist dies natürlich in erster Linie bei Jagdpulvern, die noch immer fast ausschliesslich in ursprünglich für das alte Schwarzpulver gebauten Waffen zur Verwendung kommen, der Fall —, so sind niedrige Nitroprodukte nach Art des Dinitrotoluols oder des von E. Schultze angewandten Nitroharzes (vgl. S. 264—265) wohl den meisten sonst üblichen Verdünnungsmitteln vorzuziehen.

Ganz zu verwerfen sind jedenfalls flüchtige Verdünnungsmittel nach Art des Alkohols, welcher bisweilen bei der Gelatinierung hinzugesetzt wird und, so lange er in dem Pulver verbleibt, dessen Brisanz herabsetzt, aber bei seiner allmählich doch erfolgenden Verdunstung die gleichmässige Wirksamkeit schädigt. Viel besser ist der oft angewendete Zusatz von Harzen, die jedoch sehr rein sein müssen, damit kein kohliger, zäher Rückstand entsteht. Der den organischen Beimischungen eigentümliche Vorzug, keine festen Verbrennungsprodukte zu ergeben und nicht hygroskopisch zu sein, kommt auch dem aus Erdölrückständen gewonnenen, einem harten Fett ähnelnden Vaselin zu, welches dem englischen Cordit (mit Ausnahme des für blinde Schüsse bestimmten) beigemengt wird. Unter den unorganischen Beimischungen der Nitrocellulosepulver spielen die aus dem vorigen Kapitel bekannten beiden salpetersauren Salze noch immer eine grosse Rolle, und die allgemein durchgreifende Gelatinierung hat neben dem Kaliumnitrat und dem Bariumnitrat auch das Natriumnitrat und das ebenfalls hygroskopische, aber rückstandslos verbrennende Ammoniumnitrat wieder manchen Pulvertechnikern brauchbar erscheinen lassen. Ein von der französischen Pulverregie fabriziertes, von Bruneau erfundenes Jagdpulver enthält neben 83 % gelatinierter Nitrocellulose 17 % doppeltchromsaures Ammoniak; dieses an sich schwach explosive Salz enthält zwar über 40 % Chrommetall und ergiebt demzufolge viel feste Explosionsprodukte, doch sollen diese im Rauch schnell verfliegen und im Rückstand insofern wenig lästig sein, als sie sehr locker sind (beim Abbrennen von Ammoniumbichromat allein erhält man einen sehr voluminösen, grünen Theeblättern ähnelnden Rückstand) und am Metall der Waffen nicht fest-

haften; doch bleibt zu berücksichtigen, dass das den Rückstand bildende Chromoxyd als Schleifmittel wirkt und gebraucht wird, so dass das von der französischen Pulverregie allerdings ausdrücklich nur für Schrotschuss-Zwecke abgegebene „J-Pulver“ auf gezogene Läufe wohl sehr schädlich einwirken würde.[1]) In diesem Sinne weniger bedenklich ist der Zusatz von Graphit, welches bekanntlich in neuerer Zeit immer mehr zur Milderung starker Reibungen (als Schmiermittel für schwere Wellenlager u. ä.) Anwendung findet. Die Graphit in ihrer Masse enthaltenden Schiesswoll-gelatine-Pulver ähneln in ihrer Farbe sehr dem Schwarzpulver, so dass die grössere Kraft und die Rauchschwäche auf wenige Sachverständige überraschend wirkt. Die gleiche Färbung wird auch einfach durch Zusatz von Schwarzpulver in Mehlform erzielt; solche Pulver nähern sich jedoch auch in ihren Eigenschaften dem Schwarzpulver, welches ja geringe Zusätze von gelöster Nitrocellulose schon in früheren Zeiten erhielt (vgl. S. 21). Die unorganischen Beimischungen machen meistens die Pulvermasse härter und spröder; ebenso wirken spröde Harze, welche ebenfalls oft beigemischt werden, damit die getrocknete Pulvermasse wie Schwarzpulver durch Stachelwalzen gekörnt werden kann. Andere organische Zusätze sollen hinwiederum die Pulvermasse — insbesondere für Stangenpulver — zäher machen; thuen das allerdings meistens nicht in erwünschter Weise. So ist z. B. das von Abel und Dewar (D. R. P. No. 53294) als die Nitroglycerin-Gelatinemasse fester machend genannte Tannin bei dem „Cordit“ nicht zur Einführung gelangt; trocknende Öle, wie z. B. Leinöl und Ricinusöl, welche man seit langem gebraucht, um Kollodium fester zu machen, und die auch als Zusatz zum Celluloid Anwendung gefunden haben, machen zwar auch die verschiedenen Pulver, denen sie heute zugesetzt werden, fester, jedoch auf Kosten der Beständigkeit der Wirkung, da das sehr allmähliche Austrocknen des Öles unter Änderung seiner chemischen Beschaffenheit vor sich geht. Auch in dieser Hinsicht kann vielleicht die Amorphisierung durch geschmolzene, bei gewöhnlicher Temperatur feste Nitro-Kohlehydrate für die Pulverfabrikation von hohem Werte sein: sie ergiebt bei der Lagerung durchaus unveränderliche Massen von horngleicher Festigkeit, wenn man — was allerdings eben noch schwierig — wenig von dem Lösungsmittel und starken Druck anwendet.

Mit alkalischen Zusätzen wird manchmal ausschliesslich oder neben den anderen oben besprochenen Zwecken eine „Stabilisierung“ der Nitrocellulosepulver angestrebt, in dem Sinne, dass diese Zusätze etwa zurückgebliebene oder entwickelte kleine Säuremengen neutralisieren sollen.

[1]) Bei den kleinen Kalibern der modernen Kriegsgewehre und den geringen Tiefen ihrer Züge wirken Aufweitungen und Abschleifungen des Laufinneren natürlich besonders schädlich.

In Rücksicht auf vollkommene Vergasung wählt man für die rauchschwachen Pulver gewöhnlich anstatt der früher für die Schiessbaumwolle eingeführten alkalischen Salze (vgl. S. 131 und 205) organische Substanzen wie Anilin, Diphenylamin u. ä. Wohl mit Recht erscheint aber Guttmann die Notwendigkeit solcher Zusätze für gute Nitrocellulosen der Jetztzeit entbehrlich und die Frage berechtigt, ob die alkalischen Zusätze nicht oft nur solche Säure aufnehmen, die ohne ihre reduzierende Einwirkung auf die Nitrocellulose gar nicht frei geworden wäre.

Von der bei den meisten Gelatinepulvern üblichen Graphitierung war schon die Rede: die geringe Menge Graphit, welche das Pulver bei dieser Operation an seiner Oberfläche aufnimmt, kann wegen ihrer Geringfügigkeit (im Durchschnitt weniger als 0,5 Procent) kaum als „Zusatz“ bezeichnet werden, trotzdem sie sich, weil eben an der Oberfläche befindlich, in einer wahrnehmbaren Verminderung der Entzündlichkeit bemerkbar macht. Die wirklichen „Zusätze“ zur Pulvermasse erfolgen stets beim Gelatinieren und die zugesetzten Stoffe werden mit der Hauptmasse des Pulvers in die für den Verbrauch beabsichtigte Gestalt gebracht.

Die Gestaltungen der rauchschwachen Pulvermasse für den Verbrauch sind alle gleichfalls bereits im Laufe der Darstellung genannt worden; zusammenfassen lassen sie sich (unter Ausserachtlassung der überhaupt Ausnahmen bildenden Pulver für blinde Schüsse) in drei grosse Kategorieen: Stücke mit zwei verhältnismässig sehr grossen parallelen Flächen (Blättchen), im Verhältnis zu ihren übrigen Ausmessungen sehr lange Stücke (Stangen, Drähte) und Stücke, die nach keiner Dimension hin auffallend verschiedene Masse zeigen, als nach den anderen, also „Körner“ in der Form von Würfeln, kurzen Prismen (das schwedische rauchschwache Pulver „Apyrit“ ist in 1 mm hohe Prismen, deren Querschnitt ein gleichseitiges Dreieck von 1,2 mm Seitenlänge bildet, geschnitten), kurzen Cylindern, in der vom Schwarzpulver her altbekannten Form unregelmässig vielflächiger, an den Ecken und Kanten abgerundeter Bruchstücke, oder endlich in Kugelform.

Stets bilden viele Stücke eine Ladung; diese in einem Stücke herzustellen, ist nicht möglich, ohne dass die Verbrennung zu langsam wird. Denken wir uns nun, dass wir aus drei Pulvern, deren chemische Zusammensetzung, Dichte u. s. w. völlig gleich ist, von denen aber jedes seiner äusseren Gestaltung nach in eine andere der oben genannten drei Kategorieen gehört, Ladungen (die selbstverständlich immer möglichst gleiche Mengen des Treibmittels enthalten müssen) herstellen sollen, so werden wir zunächst bei dem Blättchenpulver das mühsame Abwägen nicht gut umgehen können. Beim Stangenpulver können wir uns, wenn es sich nicht um zu dünne oder zu viele Stangen handelt, allenfalls durch Abzählen helfen; beim Kornpulver aber bedarf es keiner anderen Ope-

ration, als des von Hand und durch Maschinen so einfach und schnell auszuführenden Abmessens, um Ladungen zu erhalten, die auch dem Gewichte nach gleich sind, — wenn das Pulver bei jeder Abmessung gleich gelagert war. Bei den Pulvern in Würfel-, Prismen- und Cylinderform ist nun die Lagerung begreiflicherweise nie so regelmässig, wie bei gut abgerundeten, vielflächigen oder gar bei kugelförmigen Körnern. Die Rundkorn-Pulver ergeben stets die gleichmässigsten Ladungen.

Es ist dies jedoch noch nicht der Hauptgrund, aus welchem auch unter den Schwarzpulvern von altersher die rundkörnigen als die am präzisesten wirkenden anerkannt sind (vgl. S. 222). Oft noch wichtiger, als die Menge des verwendeten Treibmittels, ist für den Schusserfolg die Art, in welcher sich die Zündflammen in der Ladung verbreiten (vgl. insbesondere S. 211—217); sie kann aber nur dann gleich sein, wenn die in den verglichenen Ladungen zwischen den einzelnen Pulverkörnern liegenden Zündkanäle immer gleich sind und bleiben. Bei Blättchenpulvern kann davon überhaupt kaum die Rede sein — besonders, wenn das Pulver den Ladungsraum nicht ausfüllt, sondern die ganze Ladung verschieden liegen kann —; setzt man die Ladung aus runden, im Ladungsraum festgelegten Stiften zusammen, so hat man zwar vor dem Schuss stets gleiche Zündkanäle; keine Pulvermasse dürfte aber fest genug sein, um, in dieser Form gebraucht, beim Schuss nicht in sehr verschieden ausfallende und sich lagernde Stücke zerbrochen zu werden, und in dieser Hinsicht dürfte die Stangenform sogar den am wenigsten abgerundeten Körnerformen nachstehen, besonders aber natürlich der am vollkommensten runden. Pulver in Kügelchenform wird sich, in eine Patronenhülse geschüttet, stets am regelmässigsten lagern und bei gleicher Festigkeit mit anders gekörnten Pulvern auch stets am wenigsten dem Zerbrechen beim Schuss ausgesetzt sein. Die bisherigen in mehr oder weniger vollkommener Kügelchenform gekörnten rauchschwachen Pulver besitzen allerdings, wie schon mehrfach hervorgehoben wurde, die Festigkeit anderer Pulver bei weitem nicht: die bisher zur Rundkörnung rauchschwacher Pulver gebräuchlichen Methoden, welche sämmtlich auf einer Abrundung der Körner aneinander in rotierenden Trommeln oder Rührvorrichtungen beruhen (vgl. S. 223—225, 263, 310), liefern eben nur dann runde Körner, wenn man auf die durch starke Pressung zu erzielende Dichte des Pulvers verzichtet und sich mit einem so wenig festen Produkt begnügt, dass die Vorteile der anfangs runden Körnerform beim Verbrauch mit der Form selbst verschwinden, d. h. beim Schuss stets der grösste Teil der Ladung in unberechenbare Stücke zerquetscht wird. Doch auch diese Schwierigkeit wird die moderne Pulvertechnik wohl bald überwinden: die Aufgabe liegt nahe und ist lohnend, da es durchaus der Wahrscheinlichkeit entspricht, dass, wie

Hebler (Das kleinste Kaliber, Bd. II, S. 160) meint, ein rundkörniges Pulver bei sonst gleichen Eigenschaften bald nach seinem Erscheinen alle übrigen verdrängen würde.

Was die in einer ferneren Zukunft liegende Entwickelung der heutigen Pulverfabrikation anbetrifft, so dürfte auch diese — wenn nicht in der gesammten Wissenschaft und Technik Umwälzungen eintreten, die sich jeder Voraussicht auf Grund der heute geltenden Annahmen entziehen — mehr in einer in engem Zusammenhange fortschreitenden Weiterbildung des Vorhandenen, als in tief eingreifenden, sprungweisen Änderungen, wie die Entthronung des alten schwarzen Dreigemenges eine war, bestehen. Man hört wohl hier und dort die Erwartung äussern, der Beseitigung des altgewohnten Pulverrauches würde sich als nächste grundstürzende Entwickelungsstufe die Knallfreiheit der Schiesspräparate zugesellen; es ist das jedoch wohl eine zwar nicht ohne weiteres als „unwissenschaftlich" zu bezeichnende, aber bei näherer Überlegung kaum aufrechtzuerhaltende Hoffnung. Wie es Lichtstrahlen giebt, die sich vermöge der Länge oder der Kürze ihrer Wellen unserem Auge entziehen, so würden wir auch einen Explosionsknall, dessen Schwingungszahl die von Helmholtz und anderen Akustikern festgestellte obere Wahrnehmungsgrenze unseres Gehörs (etwa 40000 Schwingungen in der Sekunde) überschritte, nicht mehr hören. Abgesehen davon aber, dass ein bei seiner Explosion so kurze Schallwellen ergebender Stoff ungeheuer brisant sein müsste (vgl. S. 141), beweist ein einfacher Versuch mit einer Windbüchse, dass es sich bei dem Knall eines abgefeuerten Gewehres nicht nur um dasjenige Geräusch handelt, welches bei der Verbrennung der Ladung entsteht: auch die plötzliche Beschleunigung in der Ausdehnung der eingeschlossenen Gase, welche eintritt, wenn das Geschoss das Rohr verlässt, verursacht in der Luft Schwingungen, welche auf unser Ohr einwirken, und ausserdem kommen zweifellos auch noch durch Bewegungen der Gewehrteile und des Geschosses erzeugte Geräusche in Frage. Das „knalllose Pulver" dürfte also ewig ein frommer Wunsch bleiben. Auch Pulver, die — wie dies sogar schon von den Erfindern bereits erfundener Pulver manchmal behauptet wird — „ein Mehrfaches der Energie der stärksten Nitropulver besitzen", sind kaum zu erwarten. Könnte man das Maximum der nach den heutigen Annahmen der Wissenschaft überhaupt möglichen chemischen Energie-Aufspeicherung in explosiven Ladungen erreichen und ballistisch anwenden, d. h. könnte man mit einem Gemenge von reinem Sauerstoffgas und reinem Wasserstoffgas schiessen, so würde man in jedem Kilogramm der so schwer zu handhabenden und eigentlich gar nicht mehr unter den Begriff „Pulver" zu bringenden Mischung auch nur eine durch (nach

Berthelot) etwa 3800 Calorieen auszudrückende Energiemenge besitzen, während bekanntlich manche der heutigen rauchschwachen Pulver weit über 1300 Calorieen entwickeln (vgl. S. 305). Eine Vervielfachung der potentiellen Energie der Treibmittel erscheint also wohl als ziemlich ausgeschlossen, und die in absehbarer Zeit zu erwartenden Erhöhungen dürften sich innerhalb der durch die Energie der stärksten, schon etwas mehr Sauerstoff, als zu ihrer eigenen Verbrennung erforderlich, enthaltenden Nitrokörper (Nitroglycerin, Nitromannit) bezeichneten Grenze von etwa 1500 Cal. halten. Nun kommt es freilich für den ballistischen Effekt nicht nur darauf an, wieviel Energie das verwendete Treibmittel überhaupt besitzt, sondern in sehr hohem Masse auch darauf, wieviel von dieser Energie verloren geht, ohne zur Bewegung des Geschosses beizutragen (vgl. S. 133—138), und in der Einschränkung dieser Verluste, in der ballistischen „Pulverausnutzung“, dürften noch grosse Fortschritte zu erhoffen sein. Ob man aber grössere Ladungen anwendet, oder langsam verbrennende Treibmittel und längere Rohre benutzt, oder endlich schneller verbrennliche Pulver und kurze aber festere Rohre konstruiert: stets wird wohl der Hauptteil der Aufgabe auf dem Gebiete der Waffentechnik — insbesondere der Herstellung genügend widerstandsfähiger und dabei nicht zu schwerer Rohre — liegen, nicht auf dem der modernen Pulver. Diese haben in der Jetztzeit diejenige Eigenschaft, welcher das alte Schwarzpulver hauptsächlich seine über ein halbes Jahrtausend lang allen Anfechtungen gegenüber siegreich behauptete Alleinherrschaft auf dem Gebiete der Treibmittel verdankt hat, ebenfalls erlangt: sie passen sich jedem Bedürfnis der heutigen Waffentechnik willig an und werden wohl auch noch auf lange Zeit hinaus alle neu hervortretenden Bedürfnisse befriedigen, ohne dass es nötig wäre, sich weiter als in Einzelnheiten der Fabrikation von den durch Schönbein und seine Nachfolger geschaffenen Grundlagen zu entfernen.

Alphabetisches Namen- und Sachregister.

Druckfehler-Berichtigung.

Seite	43	Zeile	30	statt	Bariumchorat	lies Bariumchlorat.
„	83	„	10	„	ulso	„ also.
„	92	„	32	„	Pelouse	„ Pelouze.
„	92	„	36	„	ihn	„ ihm.
„	119	„	18	„	Frwärmung	„ Erwärmung.
„	148	„	42	„	Umständnn	„ Umständen.
„	265	„	10	ist nach „1880“ ausgefallen: „durch Reid und Johnson und andere englische Fabrikanten“.		
